

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
FAKULTA STROJNÍ



# **Bakalářská práce**

**Porovnání svařování MAG plechů tl. 2 – 6 mm plným a trubičkovým  
drátem**

**Liberec 2013**

**Pavel Haman**



# **TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

## **Fakulta strojní**

Studijní program T2341 – Strojírenství

Materiály a technologie  
zaměření strojírenská metalurgie

Katedra strojírenské technologie  
Oddělení strojírenské metalurgie

### **Porovnání svařování MAG plechů tl. 2 – 6 mm plným a trubičkovým drátem**

**Comparison of MAG welding of 2 - 6 mm sheets with full and tubular wire**

Pavel Haman

**KSP – SM – B42**

Vedoucí bakalářské práce : Ing. Zdeněk Hudec, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce : Ing. Pavel Bláha, EWE, Bombardier Transportation CZ

#### **Rozsah práce a příloh:**

Počet stran: 48

Počet tabulek: 8

Počet obrázků: 42

Počet příloh: 1

Datum: 4. 1. 2013



**ANOTACE**  
**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**  
**Fakulta strojní**

**Katedra strojírenské technologie**

**Oddělení strojírenské metalurgie**

Studijní program: B2341 – Strojírenství

Student: Pavel Haman

Téma práce: Porovnání svařování MAG plechů tl. 2 – 6 mm plným a  
trubičkovým drátem

Comparison of MAG welding of 2 - 6 mm sheets with full and  
tubular wire

Číslo BP: KSP – SM – B42

Vedoucí BP: Ing. Zdeněk Hudec, Ph.D.

Konzultant: Ing. Pavel Bláha, EWE, Bombardier Transportation CZ

**Abstrakt:**

Tato bakalářská práce vyhodnocuje koutové svary na plechu 2 – 6 mm, svařované technologií MAG, trubičkovým a plným drátem. Svary se vyhodnocovaly z hlediska produktivity a kvality.

**Abstract:**

This Bc. thesis evaluates fillet welds of 2 – 6 mm sheets, welded with MAG technology, tubular and full wire welding. The welds has been evaluated according to productivity and quality criteria.



**Místopřísežné prohlášení:**

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 4.ledna 2013

.....

Pavel Haman

Husova ul.656/28

460 17 Liberec 1



## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce, panu Ing. Zdeňku Hudcovi Ph.D., za odbornou pomoc a trpělivost s vypracováváním bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat rodičům za podporu ve studiu.



## Obsah

Použité zkratky:.....	9
Teoretická část.....	11
1. Charakteristika svařování metodou MAG.....	11
1.1 Způsoby přenosu kovu do svarové lázně.....	12
1.1.1 Zkratový režim .....	12
1.1.2 Režim kapkového přenosu .....	13
1.1.3 Režim sprchového přenosu .....	13
1.1.4 Pulzní režim přenosu kovu .....	14
1.1.5 Přenos kovu do svarové lázně .....	15
1.2 Ochranné plyny .....	15
1.3 Stupeň plnění.....	16
1.4 Odtavovací výkon.....	17
2. Svařování trubičkovým drátem .....	18
2.1. Rozdělení trubičkových drátů pro svařování metodou MAG podle výroby .....	18
2.1.1. Výroba bezešvých drátů .....	18
2.1.2 Výroba švových drátů .....	19
2.2. Rozdělení trubičkových drátů pro svařování metodou MAG podle náplně.....	20
2.1.1. Trubičkové dráty s náplní kovového prášku ( FCAW) .....	20
2.1.2 Trubičkové dráty s rutilovou náplní .....	21
2.1.3 Trubičkové dráty s náplní tavidla.....	21
2.1.4 Samoochranný drát (innershield) .....	22
Experimentální část.....	25
1. Příprava svařování.....	25
1.1 Příprava vzorku .....	24
1.2 Monitorovací zařízení WeldMonitor .....	25
1.4 Použité ochranné atmosféry .....	27
1.4.1. Směs Euromix M21 .....	27
1.4.2 Feromaxx 7.....	27
1.5. Použité elektrody.....	27
1.5.1 Trubičkový drát FILARC PZ 6102 .....	27



1.5.2 Trubičkový drát FILARC PZ 6105R (OK Tubrod 14.11) .....	28
1.5.1. Plný drát ESAB OK AristoRod 12.50.....	30
2. Experimenty .....	30
2.1 Svařování plechů tl. 5 mm.....	30
2.1.1 Svařování v ochranném plynu EUROMIX M 21 (Ar-CO <sub>2</sub> 82/18).....	31
2.1.2 Porovnání svarů o stejné ploše návaru v atmosféře ferromaxx 7 zhotovených plným a trubičkovým drátem .....	32
2.1.4 Vzájemné porovnání svařování plným a trubičkovým drátem na plechu 5 mm .....	36
2.2 Svařování plechu tl. 2mm.....	37
2.2.1 Zhodnocení svarů s koutovým svarem a2 svařovaných vysokorychlostním trubičkovým drátem .....	37
2.2.2 Zhodnocení svarů s koutovým svarem a2 provedených plným drátem ø 0,8 a 1,0 mm.....	39
2.2.3 Zhodnocení metod použitých pro svařování hladkých plechů tl. 2 mm.....	40
2.2.4 Porovnání svarů s koutovým svarem a2 trubičkovým a plným drátem na plechu opatřených základním nátěrem.....	41
3. Závěr.....	43
4. Použité vzorce: .....	44
Seznam použité literatury:.....	45
Příloha	



## Použité zkratky

Prod. - produktivita (rychlost svařování x účinná výška svaru)

Trub. – trubičkový drát

Ozn. – označení vzorku

$V_D [m \cdot min^{-1}]$  – rychlost drátu

$V_S [m \cdot min^{-1}]$  – rychlost svařování

$I [A]$  – el. proud

$U [V]$  – el. napětí

$Q_I [kJ \cdot cm^{-1}]$  – měrné vnesené teplo

$P_M [mm^2]$  – vypočtená plocha

x – měřená velikost

c- měřená velikost

b - měřená velikost

z - měřená velikost

v – nosná velikost svaru

p - převýšení

w – šířka housenky

$\beta$  – úhel přechodu svaru do základního materiálu

MAG – svařování drátem v aktivním ochranném plynu

Z – svařováno ve zkratovém režimu

P – svařováno v pulzním režimu

T – svařováno trubičkovým drátem

F7 – ochranný plyn Feromaxx 7





82/18 – ochranný plyn - 82% argonu a 18%CO<sub>2</sub>

92/8 – ochranný plyn – 92% argonu a 8% CO

$k_1$  - koeficient propalu drátu (dle výrobce  $k_1=0,97$ )

$k_2$  – koeficient rozstříku (podle druhu přenosu kovu  $k_2=0,99 - 1$ )

$P_S$  – měřená plocha svaru [mm<sup>2</sup>]

$P_N$  – měřená plocha návaru [mm<sup>2</sup>]

$P_M$  -vypočtená plocha návaru

$h$  – účinnost přenosu tepla v oblouku (pro MAG  $h=0,85$ )

$a_t$  – teoretická nosná velikost

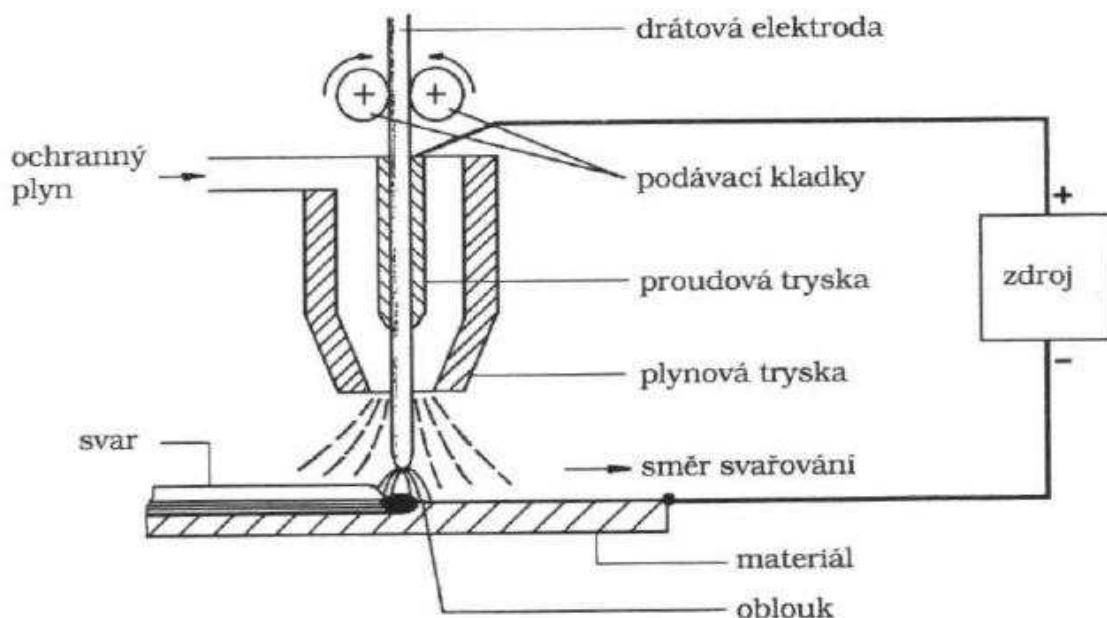
$a$  - měřená nosná velikost

$f_2$  – účinnost tavení materiálu

## Teoretická část

### 1. Charakteristika svařování metodou MAG

Jedná se o tavné svařování v aktivním ochranném plynu. Největší uplatnění je při poloautomatickém svařování nelegovaných, nízkouhlíkových a nízkolegovaných ocelí, kde hlavní důraz je kladen na vysokou rychlost a operativnost. V této metodě se proud přivádí do elektrody kontaktní hubicí v hořáku, která je spojena s kladným pólem zdroje. Podávací zařízení dopravuje elektrodu (v našem případě drát navinutý na cívce) konstantní rychlostí do místa svaru, tam elektroda vytváří elektrický oblouk, odtavuje se a tvoří svarovou lázeň. Současně proudí hubicí i ochranný plyn. U svařování technologií MAG je tento plyn aktivní. Znamená to, že se aktivně zapojuje do procesu mezi svarovou lázní a kovem odtavujícím se z elektrody. Tato technologie velmi dobře umožňuje svařovat v polohách. Nespornou výhodou je získání vysokých výkonů odtavení, při malých průměrech elektrod. Elektrody se používají v rozmezí průměru 0,8 až 1,6 mm. [19], [18]



Obr. 1 Princip svařování metodou MAG [10]

## 1.1 Způsoby přenosu kovu do svarové lázně

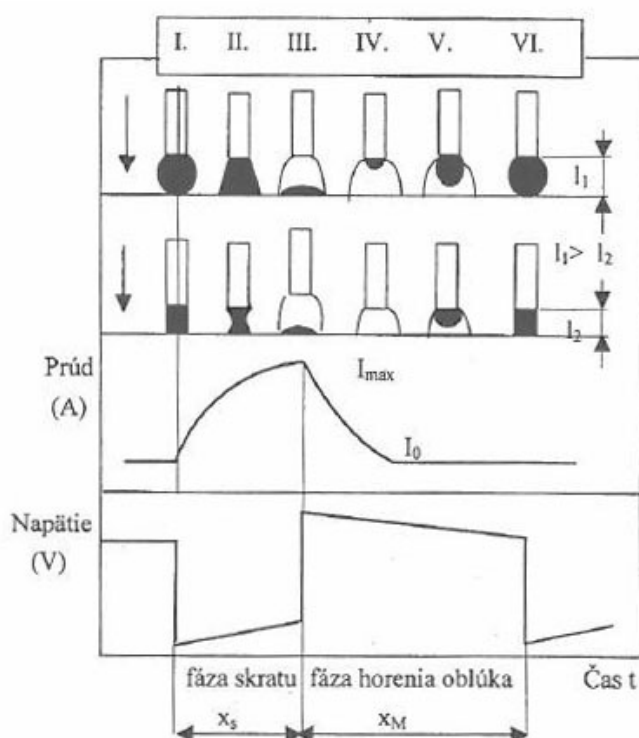
Jedná se o svarovou lázeň bez ochrany tavidla, chráněnou pouze proudícím plynem. Vykazuje vysokou dynamiku přenosu kovu z odtavující se elektrody. Z tohoto důvodu bylo možno technologii MAG zavést do výroby až v 70. letech minulého století, kdy pokrok v elektronice umožnil konstrukci stabilnějších zdrojů (výkonové diody, tyristory a tranzistory). Stabilita přenosu kovu je možná pouze v určitých parametrických oblastech. Jedná se o zkratový režim, sprchový režim, pulzní přenos kovu, zrychlený zkrat a vysokovýkonné metody, moderována sprcha a rotující oblouk. Zde budou popsány pouze metody vhodné pro trubičkové dráty. [19], [18]

### 1.1.1 Zkratový režim

Zkratový přenos vzniká přemostěním (zkratováním) mezery oblouku a tedy odtavením konce elektrody ve svařovací lázni. Přemostění je důsledkem nižšího napětí a rychlosti podávání elektrody, která převyšuje rychlost jejího tavení. Zkrat nastává při styku elektrody s lázní, přitom proud se rychle zvyšuje a to vede k odporovému ohřevu elektrody. Potom se propojení přeruší, natavená část elektrody se přenesení do svarové lázně a oblouk se znovu zapálí. Tento proces je velmi efektivní. Frekvence zkratování dosahuje 50 až 150 Hz. Zkratový režim se často využívá při svařování tenkých plechů a i při svařování v polohách, protože vykazuje nízké vnesené teplo a tomu odpovídající malé rozměry svařovací lázně. Je tu ale i nebezpečí nedostatečného průvaru. [19]

### Fáze zkratového režimu

Jednotlivé fáze zkratového přenosu kovu jsou viditelné na obr. č. 3 a je možné je rozdělit na fázi zkratu a fázi hoření oblouku. Fáze zkratu je charakteristická snižujícím se napětím a růstem proudu na maximální hodnotu. Ve fázi hoření oblouku se vyznačuje pokles proudu i napětí. Na obrázku č. 3 je možné si všimnout, že fáze hoření oblouku představují čísla III, IV a V. Fázi zkratu pak označují čísla I, II a VI, když kapka naroste tak, že dotykem o svarovou lázeň způsobí přemostění roztaveného konce elektrody a svarové koupele. V tento okamžik proud rychle roste. [19]



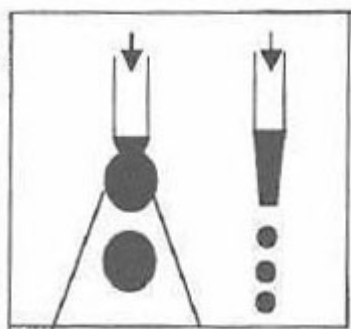
Obr. 2 Fáze zkratového režimu [19]

### 1.1.2 Režim kapkového přenosu

Kapkový přenos vzniká obvykle za vyššího napětí, při kterém větší délka oblouku neumožňuje vytvoření zkratu. Při svařování nízkými proudy nejsou elektromagnetické síly příliš velké a kapky se oddělují jen gravitačními silami, které jsou větší, než síly povrchového napětí, působícího proti oddělení kapek. Oddělující kapky jsou větší než průměr elektrody. S nárůstem proudu rozměr kapek klesá a zvyšuje se frekvence jejich oddělování. [19]

### 1.1.3 Režim sprchového přenosu

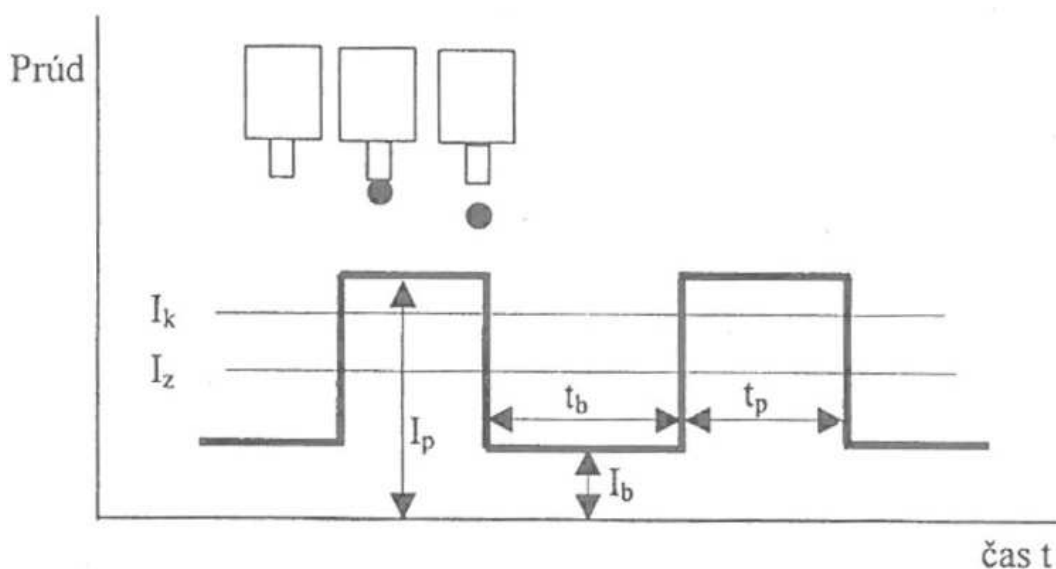
S rostoucím proudem roste elektromagnetická síla, která působí na odtavující se kapku axiálně a radiálně. axiální složka urychluje její odtržení směrem k tavné lázni a radiální složka zaškrcuje kapku směrem k drátu. To znamená, že s rostoucím proudem se tvoří čím dál menší kapky. Při určité hodnotě proudu (pro pevný drát o průměru 1,2 mm je to cca 300 A) se začne tvořit stovky kapek za vteřinu z celého povrchu taveného konce drátu, které splývají v tzv. axiální sprchu. Trubičkový drát přechází do tohoto režimu při nižších proudech, to znamená, že trubičkovým drátem se svařuje převážně ve sprchovém režimu. [19]



Obr. 3 Sprchový režim [19]

#### 1.1.4 Pulzní režim přenosu kovu

Vývoj zdrojů koncem 80. a 90. let (zejména invertory) umožnil přenos kovu řízeným kapkovým procesem. To znamená, že základním proudem o hodnotě cirká 50 [A], který udržuje oblouk, provádíme řízenou pulzaci do oblasti sprchového režimu (nad 300 A), kdy při každém pulzu se odtaví jedna kapka. Výkon tavení se řídí pouze změnou frekvence pulzu. Průběh režimu je na Obr. 4. Pulzní režim je vysoce stabilní a má malý rozstřík. Je ho možné použít při svařování ve všech polohách a velmi se osvědčil i při svařování tenkých plechů. [19]



Obr.4 Pulzní režim [19]

### 1.1.5 Přenos kovu do svarové lázně

Na Obr. 5 je znázorněn rozdíl v přenosu kovu do svarové lázně mezi trubičkovým drátem a plným drátem.



Obr. 5 Přenos kovu do svarové lázně [6]

## 1.2 Ochranné plyny

Jako ochranné plyny při svařování MAG se nejvíce používají tzv. aktivní plyny a jejich směsi jako jsou např.: oxid uhličitý, helium, argon a další. Tyto plyny se starají o ochranu svarové lázně, vysoko vyhřátých částí svařovaných materiálů a konce tavicí se elektrody, před nežádoucím účinkem okolní atmosféry. Nežádoucí účinky jsou oxidace a naplynění. [18] První experimenty, jak uchránit wolframovou elektrodu před oxidací směsí helia a argonu, proběhly už v roce 1920. V roce 1948 byl použit jako ochranný plyn argon, už u tavicí se elektrody, ale až vývoj deoxidové elektrody nám dovolil použít levný ochranný plyn oxid uhličitý u odtavující se elektrody. [19] Ochranné plyny mají za úkol také stabilizaci oblouku, úpravu tepelného výkonu oblouku, vylepšení podmínek pro odtavování tavicí se elektrody, zlepšit tvar svaru a svarové housenky. [18]

## Argon

Je to inertní plyn, nehořlavý, chemicky nereagující, bezbarvý a netoxický. Používá se velmi čistý nad 99,95 % s označením 3N5 a 3N8, může mít i složení čistší nad 99,996 %, to se pak značí min. 4.2. Samotný se používá málokdy, spíše se mísí s jinými plyny. Argon napomáhá v elektrickém oblouku vyvinout vysokou teplotu, má totiž dobrou tepelnou vodivost. Oblouk hoří stabilněji i při nízkém napětí, je to dosaženo tím, že má dobrou elektrickou vodivost. Má ovšem i nežádoucí účinek v podobě vytváření ozónu  $O_3$ , tento jev se zmírňuje přidáním NO do ochranné atmosféry. [19]

## Kyslík

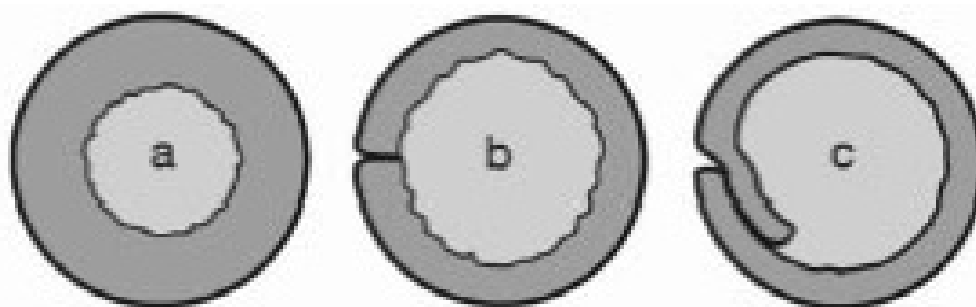
Dává se do ochranných atmosfér pro podporu hoření. Není doporučeno používat tento plyn při sváření s wolframovou elektrodou, protože při kontaktu vzniká destrukce elektrody. Většinou tvoří směs s argonem, kdy už při nízkém obsahu kyslíku, velmi vylepšuje kvalitu svaru. [19]

## Oxid uhličitý

Jedná se o bezbarvý plyn, který je 1,5x těžší než vzduch. Do teploty 700 °C se chová jako inertní plyn, ovšem nad tuto teplotu se rozpadá na oxid uhelnatý CO a kyslík. To vede k tomu, že se chová oxidačně. Tepelná vodivost při teplotě vyšší než právě 700 °C je mnohonásobně větší než u argonu. Vzniká zde problém s nestabilitou a se zapalováním oblouku. Oxid uhličitý se používá samostatně a nebo ve směsi plynů při svařování metodou MAG. Při svařování metodou TIG se jako ochranný plyn nedoporučuje, z důvodů velké oxidace při teplotách nad 700 °C. [18]

### 1.3 Stupeň zaplnění

Jeden z nejdůležitějších ukazatelů trubičkových drátů je stupeň zaplnění. Udává procentuální závislost hmotnosti výplně na procentuální hmotnost drátu. Čím je vyšší stupeň zaplnění, tím se může nastavit vyšší odtavovací výkon. Na Obr. 6 jsou ukázány trubičkové dráty i se stupni plnění. Když je potřeba použít nejvyšší faktor zaplnění, tak se používá jen překrytí hran švu, zabraňuje se tím otevření trubičky. Trubička se vyrábí z tenkostěnných plechů a tak i malé otevření švu vede k úniku prášku. [13], [15]

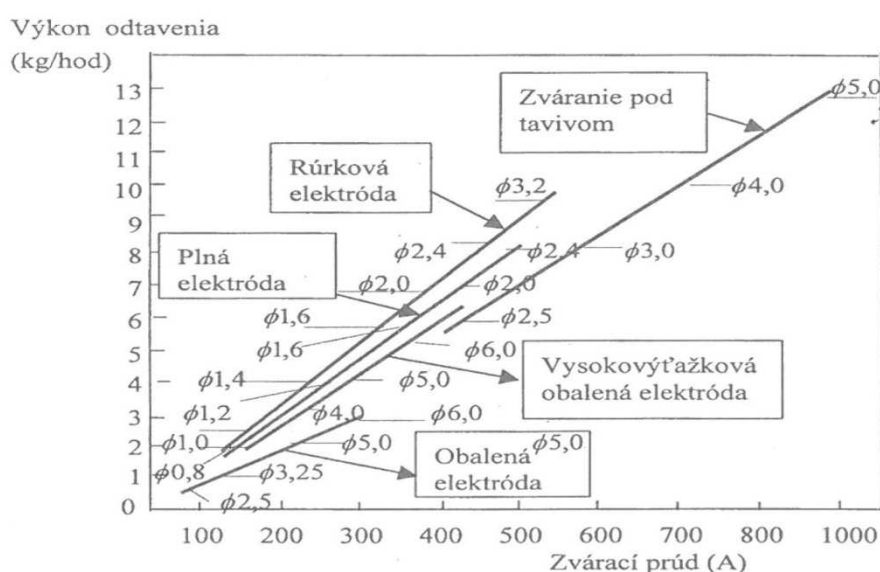


a) plný 12-14 %      b) Švový drát 18-24 %      c) přeplátovaný drát 30-45 %

Obr. 6 Stupně zaplnění trubičkových drátů [6]

## 1.4 Odtavovací výkon

Jak už bylo zmíněno, mezi hlavní výhody trubičkového drátu je rychlost svařování. Nemalou mírou k tomu přispívá i vyšší odtavovací výkon. U trubičkového drátu proud protéká přes kovový obal, proto se dosahuje vyšší proudové hustoty, než právě při svařování s elektrodou, která má plný průřez. Proudová hustota je přímo úměrná rychlosti tavení elektrody. Jak se bude rychle tavit elektroda, závisí na velikosti dodaného proudu a vzdálenosti hubice od svařovaného materiálu. Nesmí se ani zapomínat na průměr elektrody. Čím větší průměr, tím horší je odtavování. K lepšímu odtavení přispívá vyšší koeficient zaplnění. Srovnání množství odtaveného kovu při svaření různými typy elektrod je na obr. 7. [19]



Obr. 7 Výkon odtavení elektrod [19]



## 2. Svařování trubičkovým drátem

Již v roce 1912 Oskar Kjellberg si nechal udělat patent na sváření elektrodou ve formě trubičky. Tyto elektrody by byly plněny látkami (fotolegurami), které umožňují získat požadované chemické složení svařovaného kovu. Svařovaný kov před oxidací by pak chránily struskotvorné látky v obalu elektrody. Neúspěchem tohoto patentu bylo, že se nepovedlo sladit kinetiku tavení jádra a obalu a rovnováhu povrchových energií obou typů substancí. Místo toho se velmi rozšířilo svařování obalovanou elektrodou. Svařování obalovanou elektrodou má ale i své nedokonalosti. Mezi jednu takovou patří problém se vznikem startovacích a koncových kráterů. Tato místa se často nechávají vybrušovat, z důvodů celistvosti, což je nákladné. Při automatizovaném, nebo kontinuálním mechanizovaným svařování k tomuto jevu nedochází, ale přídavný materiál je zde drát větší délky. Postupem času se ukázaly mnohé klady trubičkového drátu při svařování v ochranných atmosférách, jako jsou třeba produktivita, dobrá kvalita svarů při vyšších rychlostech. Nespornou výhodou proti obalované elektrodě bylo i odstranění tzv. ztrátového času. Jednalo se o čas, kdy se elektroda musela vyměnit a tím se přerušil i přirozený rytmus sváření. Tyto poznatky měly za následek velké rozšíření této technologie.[19], [21]

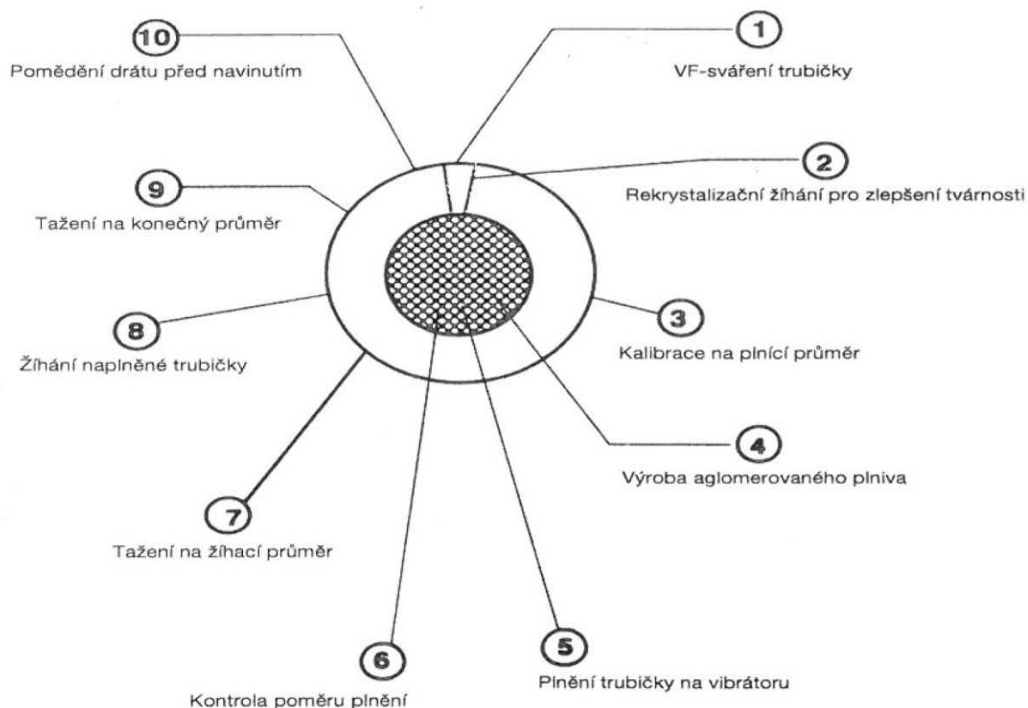
### 2.1. Rozdělení trubičkových drátů pro svařování metodou MAG podle výroby

V dnešní době rozdělujeme trubičkové dráty podle výroby na švové a bezešvé. Bezešvé dráty se dále upravují poměděním, z důvodů lepší tepelné a elektrické vodivosti. Naproti tomu švové dráty se touto metodou neupravují. Dělí se dále na oxidické (s následnou tepelnou úpravou) a lesklé (bez tepelného zpracování, hlazené). Podle tvorby strusky se dělí na struskotvorné a bezstruskotvorné.[13]

#### 2.1.1. Výroba bezešvých drátů

Výroba bezešvých plněných drátů je názorně ukázána na Obr.8. Základní materiálem je zde nekonečný pás, který má šířku 50 mm a tloušťku 2 mm. Vytvoření trubičky dosáhneme vysokofrekvenčním svařením pásu plechu. Před plněním aglomerovaným plnivem - práškem, se trubička rekrytalizačně žíhá. Plnění probíhá za kmitavého pohybu na střešacích zařízeních. Dosahuje se tím zhutnění prášku v trubičce.

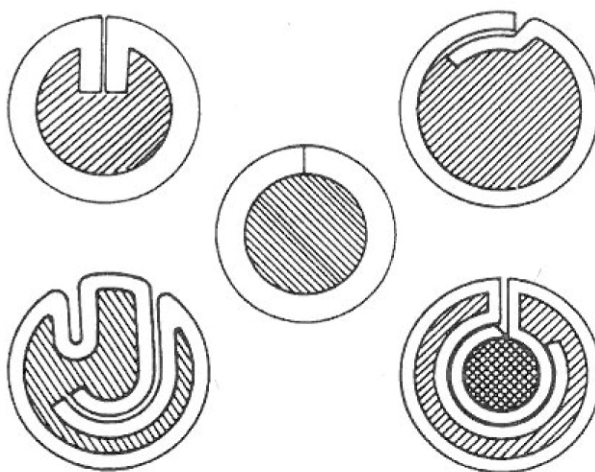
Dále se pokračuje protahováním naplněné trubičky až na žíhací průměr. Během tepelného zpracování je plášť žíhán na měkko. To má za následek snížení vodíku pod 5 ml/100g. Aby se dosáhlo požadovaného průměru, drát je několikanásobně tažen, vlhký čištěn a nakonec poměděn a leštěn. Takto vyrobené dráty jsou velmi ohebné a nikterak se nekrotí. Mohou se použít bez přerušování a jsou naprosto chráněny proti vlhkosti. Výborně fungují i na zařízeních s dvoukladkovým podavačem. [8]



Obr. 8 Výroba bezešvých drátů [8]

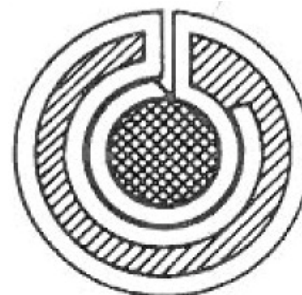
### 2.1.2 Výroba švových drátů

Švové dráty se vyrábějí z tenkých ocelových pásků, které jsou stočeny do profilu U. Vytvořený profil se pak plní práškovým tavidlem. Následně je uzavřen. Tvarové uzavření je vidět na Obr. 9. Nakonec je drát protahován na požadovaný průměr. K dosažení lepší tažnosti a malého exponentu deformačního zpevnění drátu se může použít i legovaná nebo austenitická ocel. [20] Za vítězství konstruktérů se považovalo vytvoření z jednoho pásu, pár soustředných trubiček, které mohou obsahovat v prostřední trubičce legující prvky a ve vnější trubičce struskotvorné prvky. Je to ukázáno na Obr. 10. [13]



Tvarově uzavřené plněné dráty

Obr. 9 Tvarově uzavřené plněné dráty [8]



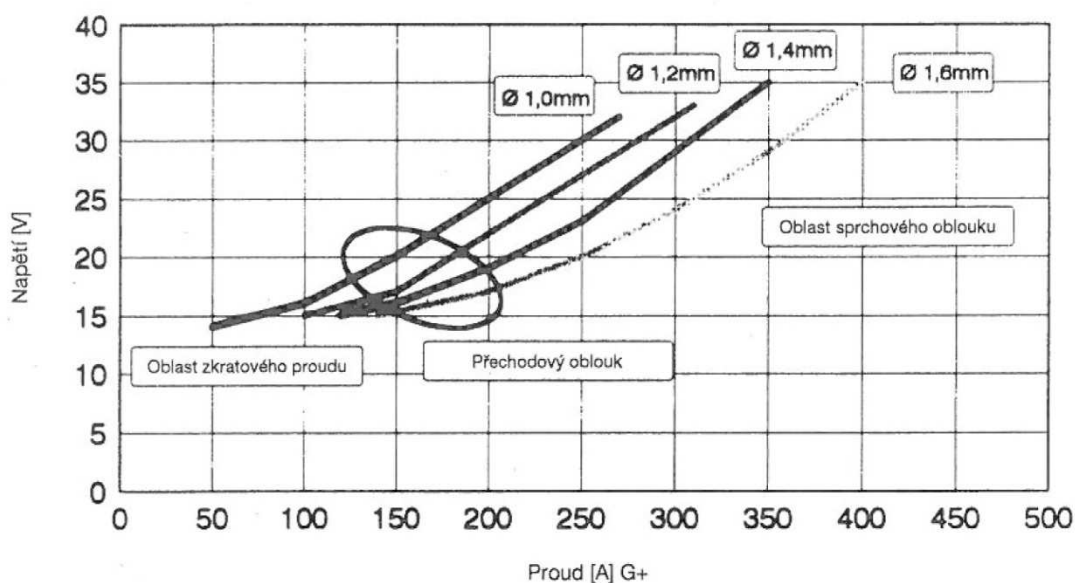
Obr. 10 [8]

## 2.2. Rozdělení trubičkových drátů pro svařování metodou MAG podle náplně

### 2.1.1. Trubičkové dráty s náplní kovového prášku ( FCAW)

Vývoj těchto drátů byl směřován pro robotizovaná pracoviště, kvůli svému bezroztříkovému procesu a snadnému znovuzapálení. Mezi výhody oproti struskotvorným drátům patří zejména vícevrstvé svařování, kdy odpadá čištění vrstev od strusky. Je zde ale problém s tvorbou póru při větším vzdálení hubice hořáku od svařovaných ploch. Další takovou výhodou jsou srovnatelné charakteristiky svaru, co se týče kvality, se svary, které byly zhotoveny struskovým svařováním.

Ke svařování trubičkovým drátem plněným kovovým práškem se výhradně používá ochranná atmosféra M21 od firmy Air products. Svařuje se většinou ve třech procesech přenosu kovu. Jde o sprchový proces, smíšený proces a zkratový proces. Z těchto tří procesů vyniká zkratový proces svým nízkým rozstříkem, čehož se velmi využívá při ručním svařování a svařování v polohách. Na obr. 11 jsou znázorněny všechny tři procesy a jejich závislosti napětí a proudu na různých průměrech elektrod. [8], [13]



Obr. 11 Závislost průměru drátu a velikosti proudu [8]

### 2.1.2 Trubičkové dráty s rutilovou náplní

Hlavní složkou této náplně je oxid titaničitý  $\text{TiO}_2$  (rutil). Tavní s touto přísadou dovolují dobře měnit teplotu tavení a viskozitu strusky, takže je možné navrhnout strusku s menší tekutostí, například pro vertikální svařování na svislé stěně. Struska může být i tekutější, čehož se využívá při svařování při vysokých rychlostech. Oxid titaničitý neuvolňuje do svarové lázně kyslík, takže je stabilním komponentem. Rutil se taví při teplotách 1700 – 1800 °C, takže další přísadou tvořící s rutilem eutektický systém, se musí snížit teplota tavení pod 1200 °C. Je to důležité, aby kapky, které vnikají do svarové lázně během velmi krátkého času, byly dostatečně obaleny roztaveným tavním. Tavní je chráněn před následnou oxidací z okolního prostředí. Jako ochranná atmosféra je doporučovaná směs argonu a oxidu uhličitého (M21). [21]

### 2.1.3 Trubičkové dráty s náplní tavidla

Bazický drát byl vyvinut pro svařování v polohách. V současnosti se dráty vyrábějí s vyšší stupněm zaplnění a nižším obsahem strusky. Těchto požadavků se hojně využívalo v lodním průmyslu za použití rutilových drátů. Využívalo se zde rutilových drátů s rychletuhnoucí struskou pro svařování z jedné strany ve svislé poloze na keramických podložkách. Lodní průmysl šel stále dopředu a bylo nutno svářet i

tlusté průřezy a komponenty off-shore techniky. Zde už rutilové dráty nebyly schopny dodržet potřebnou bezpečnost proti trhlinám za extrémních podmínek.

Bázické dráty mají jemný až středně kapkový přenos. Jejich struska má podpůrný účinek a dá se lehce odstranit. U svaru se minimalizuje návrat do původního stavu. Nakonec umožňují provaření primární a válcové vrstvy.

Bázické dráty mají i nevýhodu, a to že se připojují na mínus pól.

Nejvíce se dnes využívají pro svařování v ochranných atmosférách jako zdroj usměrňovače s plochou napěťovou charakteristikou. Impulzní technika zajišťuje mimo jiné i bezrozstřikový přenos. Má ale i svá úskalí, musí se dávat pozor na to, aby se frekvence pohybovala v rozmezí 50 – 100 Hz. [8]

#### **2.1.4 Samoochranný drát (innershield)**

Někdy je velmi obtížné a drahé zajistit ochranný plyn v hořáku. V některých případech to ani není možné, například při svařování na střeších vysokých budov. Těžko by svářeči tahali velké lahve do vysokých pater budov, nehledě na to, že v různých částech světa nejsou k dispozici ochranné plyny. Další takovou nevýhodou je i náchylnost na odfouknutí ochranné atmosféry v otevřeném prostoru. Hledala se tudíž alternativa, kterou byl plněný trubičkový drát a drát s vlastní ochranou atmosférou.

První návrhy přišly téměř současně z USA a Ruska kolem po roce 1950. Byla tu snaha vyrovnat se a zároveň konkurovat obaleným elektrodám a elektrodám s plynou ochranou, jak ve stavebním průmyslu, tak lodní výrobě. Jednalo se hlavně o zamezení kyslíku a dusíku ve svarech feritických ocelí. Ty způsobovaly nadměrnou pórovitost svaru. Nabízely se dvě varianty, které se později skloubily a využívají se současně. První je založena na principu, kdy se poskytnou materiály, které se vypařují a tím vytvoří neprostupnou atmosféru pro škodlivé plyny. Ve druhém případě se použijí nitridy a deoxidanty, které zneškodní dusík a kyslík, který se pokouší dostat do svarové lázně.

Jako základním prvek pro samoochranné dráty byl použit fluorid vápenatý (kazivec). Byl vybrán pro svou objemnou páru, kterou tvoří na hrotu drátu při bodu varu kolem 2500°C. Mezi nevýhody patří horší stabilita oblouku a přenos kovu. Hustá pára tvoří kondenzát blízko svarových ploch. I přes tuto skutečnost, je fluorid základní složkou samoochranných drátů.

Další variantou byla kombinace vápna a fluoridu, která se využívala i v obalech elektrod. Za dostatečného tepla a výletu drátu se tvořila dobrá atmosféra, aniž by se musely přidávat deoxidanty a nitridy, kvůli zamezení pórovitosti svaru. Z důvodů dlouhého výletu drátu se vymýšlela jiná varianta. Ta spočívala ve spojení par z materiálů nekovových, kovových a silných nitridů. Některé kovy zastávají i funkci ochrannou. Velmi dobrý se ukázal být hliník. Začíná se tavit při 660 °C a teplotu varu má při 2467 °C. Následně se přeměňuje na stabilní nitridy a oxidy. Hliník se používá ve většině drátů k tvorbě nitridů. Dále je přidáván uhlík, aby byla zajištěna tvorba austenitu. Na poměr uhlíku a hliníku je kladen velký důraz, protože při nevyváženosti by mohlo dojít k nadměrné prokalitelnosti materiálu a vzniku trhlin za tepla.

Dále se nabízejí ještě další čtyři kovové prvky. Jsou to hořčík, lithium, zirkon a titan. Nejlépe je na tom hořčík. Tvoří nitridy a zároveň má ochrannou funkci oblouku. Zirkon s titanem jen tvoří nitridy. Nakonec lithium. Lithium netvoří nitridy, ale zato má ochrannou funkci oblouku.

Jako nejvíce užitečné sloučeniny se považují sloučeniny barya. Byly použity do drátů s označením E 70T – 5. Uhličitan bárnatý se vyznačuje vyšší teplotou rozkladu, než uhličitan vápenatý. Udrží kratší oblouk a je méně náchylný k explozím. Nesporná výhoda je v menším potřebném napětí k zapálení oblouku. Dokáže zapálit oblouk už při 13 či 14 V, kdežto trubičkový drát plněný vápenito - fluorido – hliníkovým plnivem zapaluje oblouk, až při 22 V. Hodně se toho využívá při svařování v polohách, kdy při stejném proudu je nižší propal a svářeč má větší kontrolu nad svarem. Nízké napětí umožňuje vytvořit kratší oblouk a tím snížit riziko vmísení dusíku do svarové lázně. Použití samoochranných drátů s bárnatým plnivem se využívá v pevných konstrukcích, například v lodním průmyslu. [13]

## Experimentální část

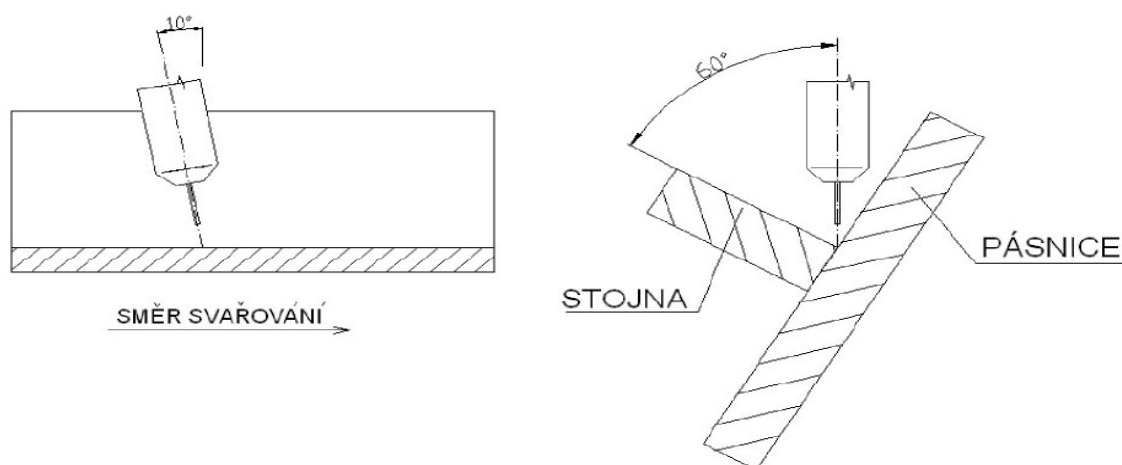
### 1. Příprava svařování

#### 1.1 Příprava vzorku

Pro experimenty byla použita pásová ocel 5 x 100 mm, materiál 11 373. Pásovina se rozřezala kyslíkem na plechy 250 mm. Stojna T - spoje se obrousila na jedné hraně a přilehlém okraji pásnice uprostřed, aby byl spoj čistý. Vzorek se nastehoval a srovnal pod úhlem 90°, aby se předešlo případným deformacím při svařování.

#### Svařování

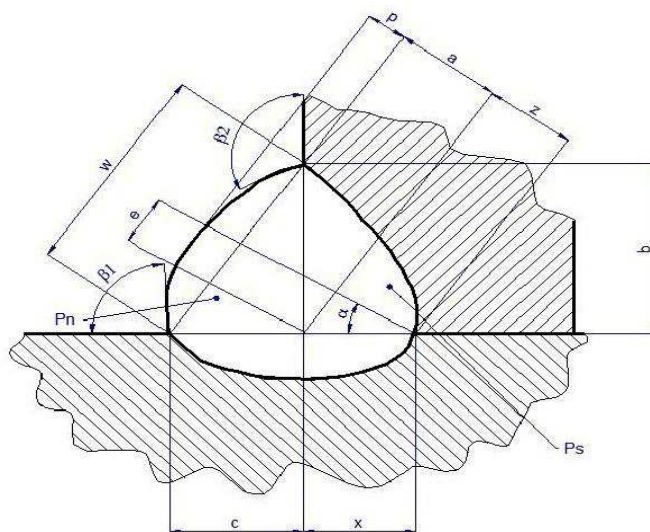
Svařovalo se v přípravku, který lze nastavit do libovolného úhlu oproti hořáku. Pro tyto experimenty bylo zvoleno klasické nastavení 45° do úžlabí hořák v ose svaru, výjimečně pro některé experimenty s vyosením hořáku, kde se předpokládal vysoký závar, byl nastaven úhel hořáku 30° k pásnici. Svařovalo se pomocí lineárního automatu, na kterém se nastavily parametry svařování (rychlost svařování, rychlost drátu, průtokové množství ochranné atmosféry a napětí na prázdko. Všechny potřebné parametry se monitorují za pomoci zařízení Weld monitor, které se skládá z měření proudu, napětí, svařovací rychlosti, rychlosti posuvu drátu a průtokového množství plynu. Vzhledem k používaným svařovacím rychlostem se hořák nastavil s úhlem 10° dopředu viz obr. 12. Dále se nastavila vzdálenost kontaktní špičky od drátu.



Obr. 12 Nastavení hořáku – materiály TUL



Následně po svařování se vzorek označil a vizuálně zhodnotil, jestli nemá případné deformace, póry nebo jiné vady. Když vizuální kontrola dopadla dobře, tak se vzorek rozřezal na cca 20 mm kusy a zalil se do dentakrylu. Pak následoval metalografický výbrus vzorku, podle postupu broušení, leštění, leptání. Po vypracování metalografických výbrusů, se některé vzorky poslaly na vyhodnocení rentgenem a další se vyhodnocovaly pomocí optického mikroskopu. Z optického mikroskopu se nasnímaly pomocí kamery do programu NIS-Elements a v tomto programu se udělala geometrická analýza, jak je znázorněno na Obr. 13.



Obr.13 Geometrické parametry svaru – Materiály TUL

## 1.2 Monitorovací zařízení WeldMonitor

WeldMonitor je zařízení, které nám umožňuje podrobně analyzovat, dokumentovat a monitorovat obloukové svařování. V základním provedení monitoruje s vysokou přesností efektivní hodnoty napětí a proudu. Poté vyhodnocuje vnesené teplo. Splňuje také nezbytnou podmínku pro spolehlivou diagnostiku sprchových, zkratových a impulzních svařovacích procesů, což je záznam změn napětí a proudu do frekvence 125 HZ. Pracuje na frekvenci 25 kHz, takže zaznamená i ty nejmenší změny monitorovacích veličin.

WeldMonitor se skládá z modulů a to nabízí mnohé výhody. Například můžeme monitorovat parametry z několika svařovacích strojů najednou v reálném čase.



Rozšíření je tedy velmi snadné. Dají se dokoupit různé moduly, jako třeba pro měření rychlosti drátu a jeho spotřebu. Rozšiřující moduly jsou znázorněny na obr. 14. [17]



Obr.14 Doplnující moduly [17]

### 1.3. Svařovací zdroj Migatronik Sigma 500 pulse

Technická data	
Napájecí napětí	3 x 400V ±15%
Pojistky	32 A
Příkon naprázno	40 VA
Proud činný	25,8 A
Příkon maximální	31 kVA
Napětí naprázno	83 A
Proudový rozsah	15 - 500 A
Zarýchovatel 20°C 100%	475 A
Zarýchovatel 20°C 70%	500 (80%) A
Zarýchovatel 40°C 100%	420 A
Zarýchovatel 40°C 60%	450 A
Zarýchovatel 40°C 40%	500 (55%) A
Rychlost podávání	0,5 - 24 m/min
Průměr drátu	0,3 - 2,4 mm
Max. průměr cívk	300 mm
Vodní chlazení	True
Třída ochrany	IP23
Hmotnost	86 kg
Rozměry d x š x v	119 x 54,5 x 120 cm

Obr. 15 Parametry zdroje [9]



Obr. 16 Migatronik Sigma 500 pulse [9]

Zdroj Sigma 500 Pulse je vhodný pro technologii svařování MIG/MAG, MIG impuls i MMA. Zdroj je konstruován na inverterové technologii, která svou pružností a rychlostí odezvy parametrů předbíhá standardní skokově řízené zdroje. Podavač je integrován přímo ve svařovacím zdroji. Nový a modernější Puls panel dovoluje nastavení primárních a sekundárních parametrů pro svařování. Umožňuje nastavení specifického programu v závislosti na daném typu materiálu, ochranného plynu a průměru svařovacího drátu a také možnost svařování impulsním přenosem. Dále verze Puls poskytuje možnost stehování, nastavení 9 sekvencí, svařování funkcí DUO Plus. Volbu nastavení parametrů podle tloušťky svařovaného materiálu a deklaraci aktuálních parametrů během svařování. Sigma2 disponuje Inteligentní regulací plynu - IGC® . Tato regulace je schopná ušetřit dostatek plynu (za vhodných podmínek je možné ušetřit až 50% plynu). IGC® je možné dokoupit, jako doplňkovou výbavu ke zdroji Sigma2. V základním vybavení se nedodává. Zdroj je navržen převážně pro těžký průmysl. [9]

## **1.4 Použité ochranné atmosféry**

### **1.4.1. Směs Euromix M21**

Je to speciální ochranná atmosféra značky Air Products, která se používá při svařování konstrukčních ocelí elektrickým obloukem metodou MAG.

Její složení se skládá z 18% oxidu uhličitého a zbylých 82% tvoří vlhkost a argon.

Lahve se plní na tlak 30 MPa za teploty 15 °C. [1]

### **1.4.2 Feromaxx 7**

Tato ochranná atmosféra se skládá ze tří složek v poměru 90,5 % argonu, 7 % oxidu uhličitého a 2,5 % kyslíku. Používá se pro zlepšení kvality svaru, protože poskytuje stabilní oblouk při nízkých napětích. Toto platí hlavně při svařování a v polohách a při použití tenkých a středně tenkých materiálů (do 10 mm). Dosahuje výborné charakteristiky pulzního oblouku. [3]

## **1.5. Použité elektrody**

### **1.5.1 Trubičkový drát FILARC PZ 6102**

FILARC PZ 6102 je elektroda s náplní kovového prášku určená pro svařování ocelí střední a vyšší pevnosti. Tato elektroda je vhodná pro svařování tenkých plechů do 3 mm. Hodí se pro svařování ve všech polohách, kromě polohy shora dolů. Vyniká

svými dobrými svařovacími vlastnostmi, které jsou stabilní v širokém rozsahu svařovacích proudů. Díky tomu se velmi často používá na robotizovaných pracovištích místo plné elektrody. Pro dobrou stabilitu oblouku se doporučuje i pro ručně prováděné tvarové svary a kořenové housenky. Při svařování pulzním zdrojem v polohách se docílí zlepšení svařovacích vlastností a snižuje se množství vneseného tepla. [4]

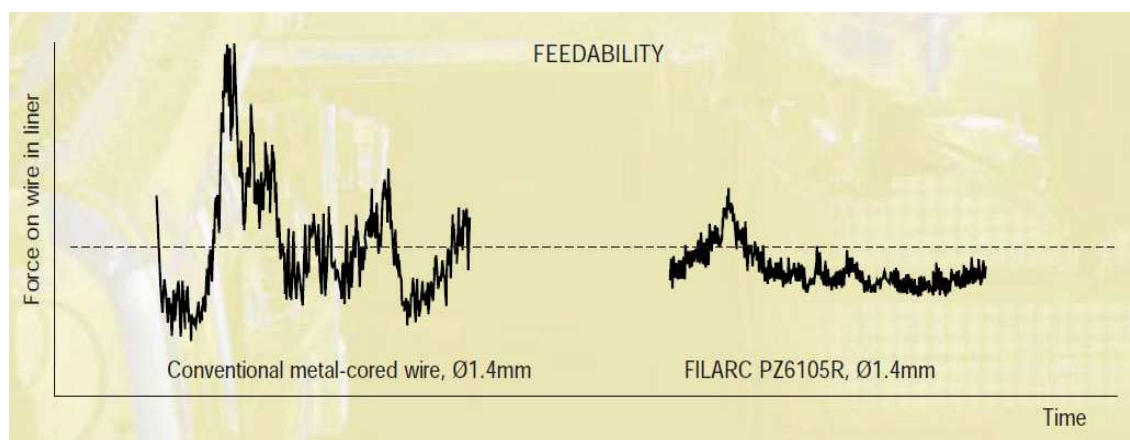
Tab. 1 Tech. parametry trubičkového drátu FILARC PZ 6102 [4]

Ød (mm)	Proud (A)	Napětí (V)	Výlet drátu (mm)	Rychlost podávání (m/min)	Výkon svařování (kg/h)
1,2	150 - 350	21 - 37	20	4,6 – 18,5	2,0 – 8,0
1,4	150 - 350	18 – 33	20	2,5 – 8,8	1,6 – 6,7
1,6	150 - 350	17 - 36	20	2,0 – 9,3	1,7 – 7,8

### 1.5.2 Trubičkový drát FILARC PZ 6105R (OK Tubrod 14.11)

Jedná se o trubičkový drát s kovovou náplní pro svařování na robotech. Měl za úkol splnit několik kritérií, mezi které patří bezroztřikovost oblouku a spolehlivá podavatelnost při vysokém zatěživateli.

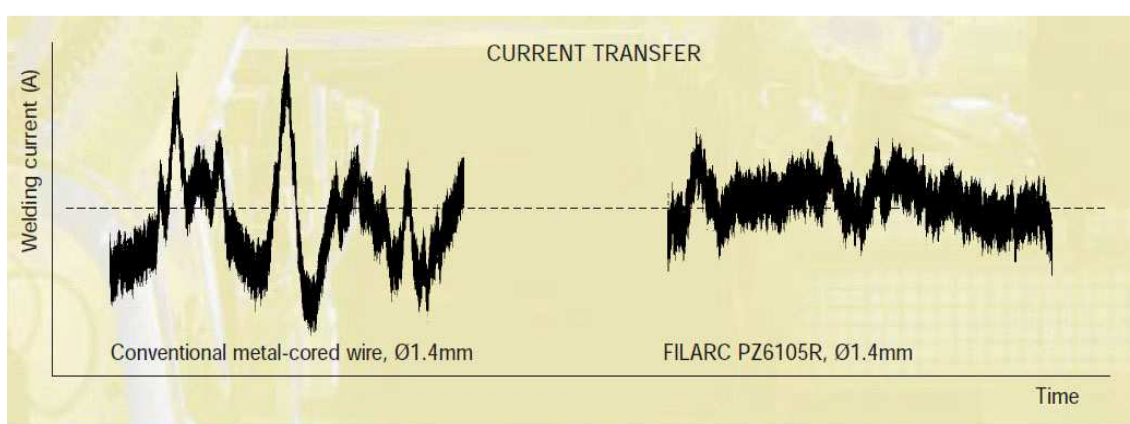
Toto kritérium bylo zajištěno zlepšením povrchu trubičkového drátu a optimálním navinutím na cívkách nebo v balení Maraton pac. I při svařování malých dílů, kdy je bowden hodně ohnutý, nemá tento drát s podáváním sebemenší problém. Podávací síla je oproti obyčejnému trubičkovému drátu podstatně menší. Je to názorně vidět na Obr. 17. Zde je zabráněno odlupování mědi z drátu a tím následné ucpávání svařovací hubice. [20]



Obr. č. 17 Tlačná síla v závislosti na čase [11]

Dále byl kladen důraz na vynikající start/stop charakteristiku, žádný výskyt pórů ani rozstřík, větší rozsah parametrů pro svařování a nakonec zabezpečení rovných svarů s rovnoměrným průvarem a plynulým přechodem do základního materiálu.

Lehké zapálení oblouku je dosaženo náplní trubičky, která se stará o měkké hoření bez rozstříku a zapalování až do proudu 450 A. Hoření oblouku nekoná žádné velké výkyvy, jako to bylo u svařování plným drátem a i trubičkovým s kovovou náplní. Porovnání drátů je na Obr. 18. Tento poznatek umožňuje svařování vysokou rychlostí s vysokým proudem tenkých částí. [11]



Obr. 18 Proudová charakteristika [11]

Nejlepší ochranné plyny pro tento drát se používají směsi 92/8 Ar/CO<sub>2</sub>, 90/10 Ar/CO<sub>2</sub>, 82/18 Ar/CO<sub>2</sub>, 96/8 Ar/CO<sub>2</sub> a také 92/8 Ar/O<sub>2</sub>. Ovšem nejlepších výsledků se dosahuje při použití 92/8 Ar/CO<sub>2</sub>. [11]

Tento trubičkový drát se vyznačuje vysokým stupněm plnění a tím i vysokým tavným výkonem. Byl vyvinut pro svařování tenkých plechů za vysoké rychlosti svařování. Nejlépe vyhovuje pro svařování tupých a koutových svarů v polohách PA, PB na robotizovaných pracovištích. [5]

Tab. 2 Tech. parametry OK Tubrod 14.11 [2]

Ød (mm)	Koutový svar	Proud (A)	Napětí (V)	Rychlost podávání (m/min)	Rychlost svařování cm/min
1,2	a=2 mm	310 - 340	22,5	13 - 14	220
1,2	a=4 mm	310 - 340	26,5	13 - 14	70

### 1.5.1. Plný drát ESAB OK AristoRod 12.50

Jedná se o svařovací drát určený většinu běžných nelegovaných konstrukčních ocelí s pevností v tahu do 530 MPa. Například pro výrobu ocelových konstrukcí atd. Je lesklý (nepomědřený) zejména pro robotické (automatické) svařování. Dají se s ním svařovat i jemnozrnné ocele s mezí kluzu nad 420 MPa. [7]

Tab. 3 Tech. parametry OK AristoRod 12.50 [7]

Ø d (mm)	Proud (A)	Napětí (V)	Výtěžnost svar. kovu g/100g drátu	Spotřeba plynu (l/min)	Rychlost podávání (m/min)	Výkon svařování (kg/h)
0,8	60 - 200	18- 24	95	14	3,2 – 10,0	0,8 – 2,5
1,0	80 - 300	18 - 32	96	16	2,7 – 15,0	1,0 – 5,5
1,2	120 - 380	18 - 35	97	18	2,5 – 15,0	1,3 – 8,0

## 2. Experimenty

Úkolem zadání bylo provést soubory porovnávacích experimentů pro 2 druhy trubičkových drátů s dvěma druhy již provedených experimentů plných drátů v rámci dohodnuté spolupráce s firmou Bombardier Česká Lípa.

Porovnávacím údajem je průřezová plocha návaru –  $16 \text{ mm}^2$  pro koutový svar a4 na plechu tl. 5 mm a plocha návaru  $4 \text{ mm}^2$  pro koutový svar a2 na plechu tl. 2 mm.

### 2.1 Svařování plechů tl. 5 mm

Nejprve byly porovnány dříve provedené svary trubičkovým drátem PZ 6102 s náplní kovového prášku se zdrojem BDH 550 a s ochranou plynu Ar-CO<sub>2</sub> 82/18 (svar 601) [15] se svary, nově provedenými zdrojem Sigma 500 s ochranou plynu Ar-CO<sub>2</sub> 82/18 (svary O20, O22) a plynu Ferromaxx 7 ( O21, O23, CT1, T1, CT2).

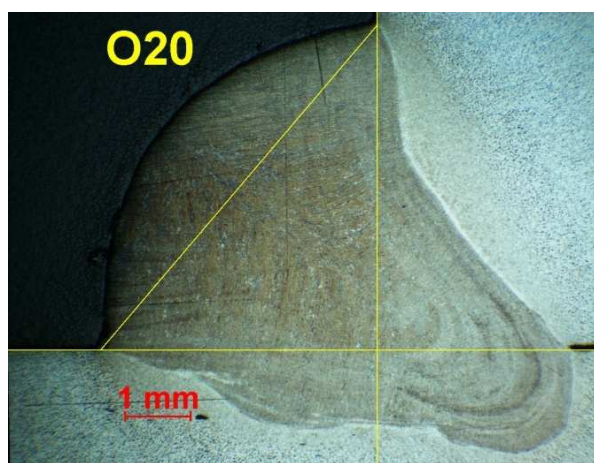
Teprve v druhé fázi byly porovnány svary, provedené trubičkovým drátem se svary, provedenými plným drátem stejným zdrojem Sigma 500 (svary 42, 52, 62, CZ12) [16], [14].



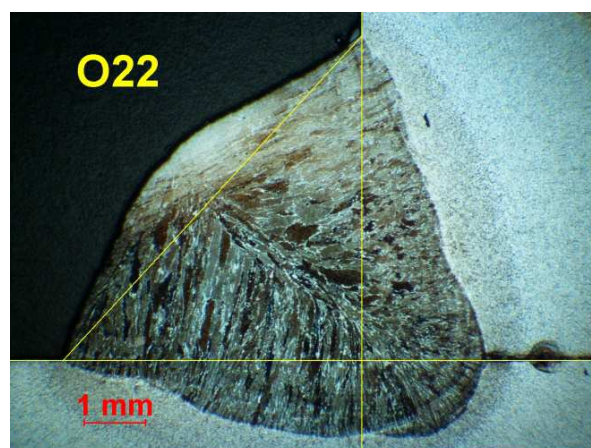
### 2.1.1 Svařování v ochranném plynu EUROMIX M 21 (Ar-CO<sub>2</sub> 82/18)

Nejprve byly porovnány nově zhotovené svary s využitím zdroje SIGMA 500 s dříve zhotovenými svary pomocí staršího invertorového zdroje BDH 550 [15].

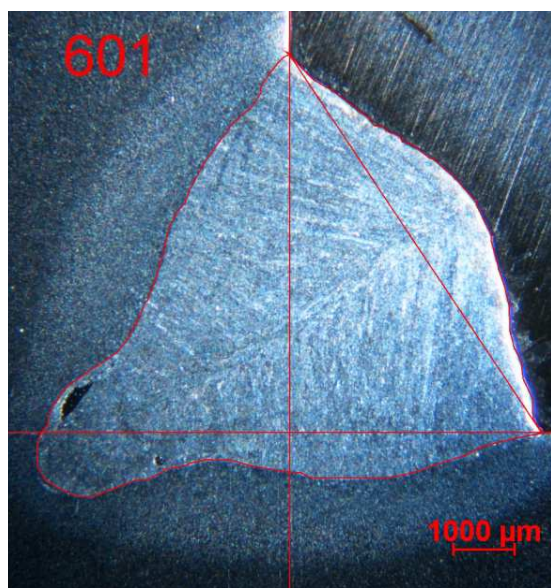
Příklady svaru o stejné ploše návaru jsou na obr. 19, 20, 21.



Obr. 19



Obr. 20



Obr. 21 [15]

Tab. 4 Porovnání svarů na plechu tl. 5 mm v ochranné atmosféře : Ar-CO<sub>2</sub> 82/18

Ozn.	Parametry				Geometrie				Prod.	Deformace			Kvalita			
	V <sub>d</sub>	V <sub>s</sub>	I	Q <sub>1</sub>	z	v	P <sub>M</sub>	a	V <sub>s</sub> *v	Q <sub>1</sub> /v	D	f <sub>2</sub>	c/b	β	p/w	a/a <sub>t</sub>
O20	14,4	0,91	347	5,6	3,0	6,2	16,1	3,3	5,0	1,0	0,42	22,9	0,85	100-107	0,22	0,8
O22	11,8	0,73	304	6,5	1,8	5,4	16,6	3,6	3,6	1,3	0,42	19,2	0,92	110-127	0,14	0,8
601	14,3	0,9	384	6,2	3,8	7,2	16,2	3,4	6,5	0,85	0,49	0,10	OK	OK	0,15	0,84

**Poznámka:** Údaje c, b, β u svaru 601 nebyly uvedeny [15], nicméně z obrázku je patrné, že tyto údaje vyhovují.

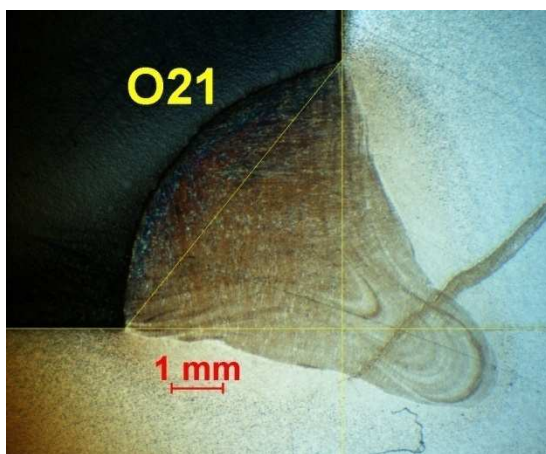
### Zhodnocení:

Tvar a hloubka závaru ve všech třech případech odpovídá dané hodnotě proudu. Vliv použitého zdroje není patrný. Z těchto tří svarů vychází ve všech ukazatelích jako nejlepší svar 601, který byl ale zhotoven s nižší vzdáleností špičky od povrchu, což se projevilo ve vyšší hodnotě proudu a hloubce závaru. Naopak hodnota vneseného tepla je vyšší. Kvalitativní parametry jsou rovněž vyšší a odpovídají svaru 022, který je ale zhotoven s nižším proudem.

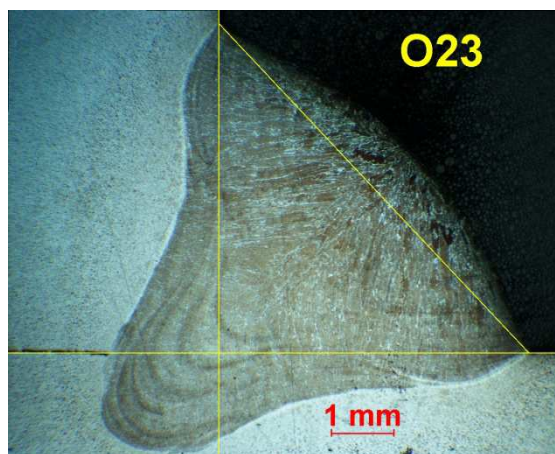
### 2.1.2 Porovnání svarů o stejné ploše návaru v atmosféře ferromaxx 7 zhotovených plným a trubičkovým drátem

Dále byly porovnány svary, zhotovené trubičkovým drátem v ochranné atmosféře plynu Ferromaxx 7, zdrojem SIGMA 500 se svary, zhotovenými stejným zdrojem a plynem – plným drátem o průměru 1,0 mm ve zkratovém režimu a drátem o průměru 1,2 mm v režimu zkratované sprchy. Porovnávané svary byly provedeny plným drátem Ø 1,0 mm při zkratovém režimu a plným drátem Ø 1,2 mm při režimu zkratované sprchy na třech úrovních intenzity procesu.

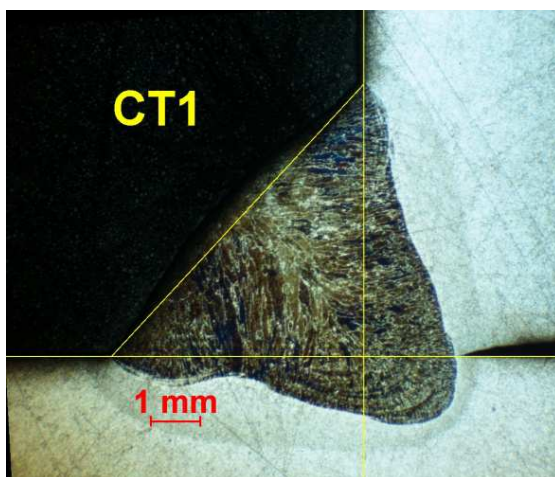
Nejprve porovnáme navzájem svary provedené trubičkovým drátem.

**Trubičkový drát:**

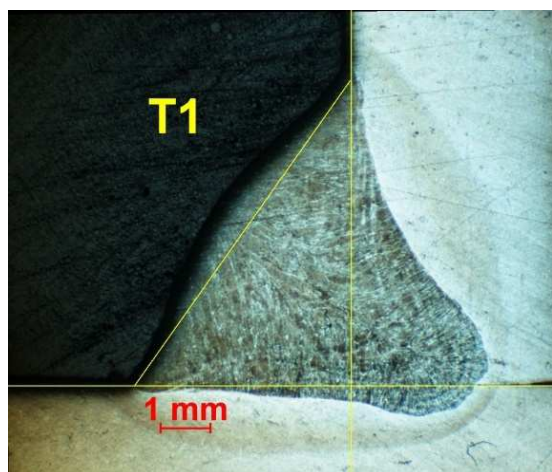
Obr. 22



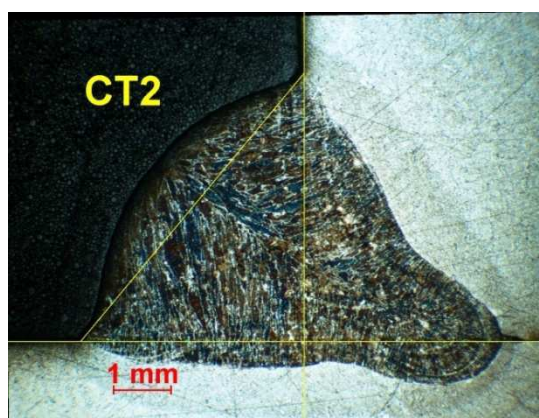
Obr. 23



Obr. 24



Obr. 25



Obr. 26





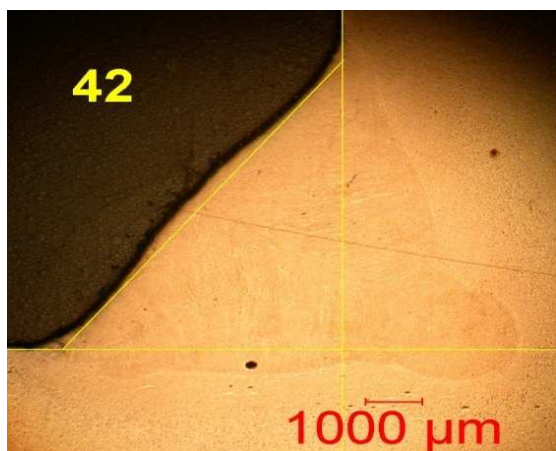
Tab. 5 Porovnání svarů na plechu tl. 5 mm v ochranné atmosféře Ferromaxx7

Ozn.	Parametry				Geometrie				Prod.	Deformace			Kvalita			
	Vd	Vs	I	Q1	z	v	P <sub>M</sub>	a	V <sub>s</sub> *v	Q <sub>1</sub> /v	D	f <sub>2</sub>	c/b	β	p/w	a/a <sub>t</sub>
O21	14,4	0,90	351	5,7	3,1	6,4	16,3	3,3	5,0	1,0	0,4	20,7	0,81	96-116	0,18	0,8
O23	11,8	0,74	305	6,4	2,2	5,8	16,3	3,6	3,6	1,3	0,38	16,9	0,94	113-117	0,11	0,9
CT1	11,8	0,74	315	6,6	2,1	5,8	16,2	3,8	3,9	1,3	0,42	19,0	0,91	128-132	0,05	0,9
T1	11,8	0,75	309	6,5	2,1	5,8	16,1	3,7	4,3	1,1	0,38	16,6	0,69	123-134	0,08	0,9
CT2	14,0	1,1	349	5,2	2,7	5,7	12,8	3,0	6,3	0,9	0,47	22,6	0,83	122-117	0,15	0,8

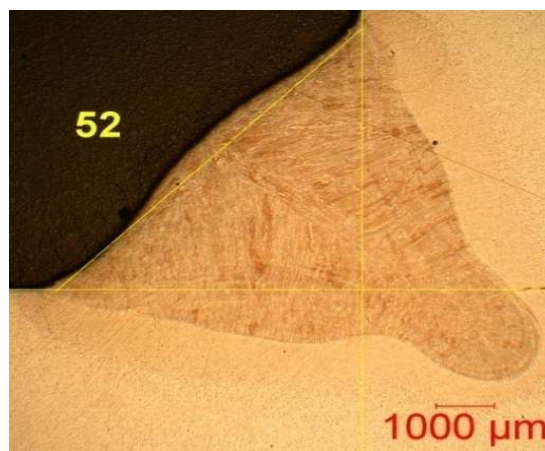
**Zhodnocení:**

Byly provedeny svary na dvou úrovních intenzity procesu. Pod úhlem 45 ° do úžlabí, kromě svaru CT2, který byl proveden pod úhlem 30° do úžlabí, ale má menší plochu návaru vzhledem k tomu, že se předpokládalo zahrnout závar do nosné velikosti svaru. Z hlediska produktivity má nejlepší parametry svar CT2, jehož nosná velikost je srovnatelná se svary s větší plochou návaru při nižší intenzitě procesu. Tento svar má samozřejmě i nižší vnesené teplo a tím i nižší sklon k deformacím a překvapivě splňuje i podmínky pro první jakost. Při porovnání svaru zhotovených za stejných podmínek (stejná plocha a úhel hořáku) je patrné, že svar 021 s nejvyšší produktivitou i nejnižším měrném vneseném teple, splňuje pouze podmínky pro třetí jakost, co se týče tvaru. Pokud bychom chtěli zajistit svařování za podmínek první jakosti, museli bychom snížit intenzitu procesu na úroveň svaru 023, CT1, T1, jejich hodnoty jsou přibližně stejné, co se týče produktivity a vneseného tepla a všechny splňují podmínky první jakosti.

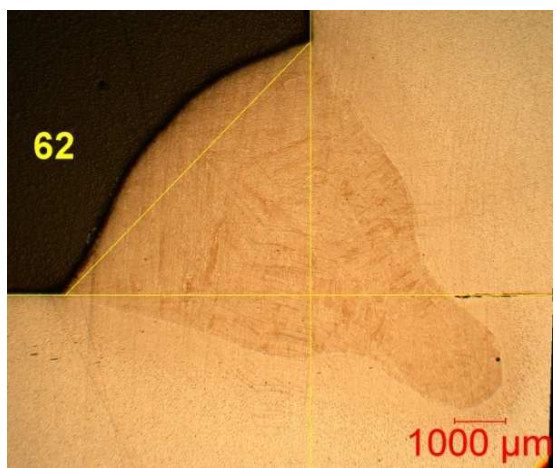
## Plný drát



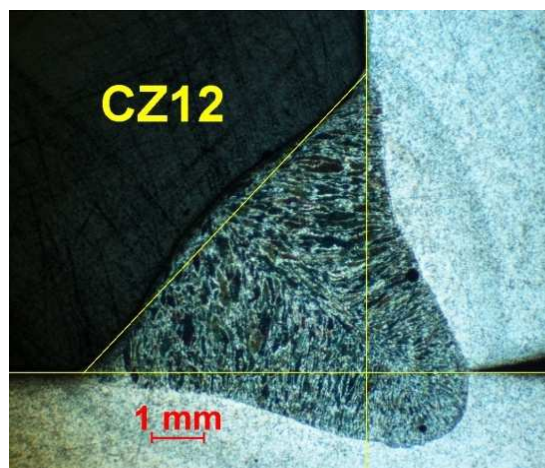
Obr. 27 [14]



Obr. 28 [14]



Obr. 29 [14]



Obr. 30

Tab. 6 Plný drát v ochranné atmosféře Feromaxx 7

Ozn.	Parametry				Geometrie				Prod.	Deformace			Kvalita			
	Vd	Vs	I	Q1	z	v	P <sub>M</sub>	a	V <sub>S</sub> *v	Q <sub>1</sub> /v	D	f <sub>2</sub>	c/b	β	p/w	a/a <sub>t</sub>
42	9,0	0,61	314	7,3	3,0	6,8	15,9	3,8	4,1	1,1	0,5	21,1	1,5	140-140	0	0,95
52	11,5	0,78	371	6,8	2,9	6,8	15,9	3,8	5,3	1,0	0,5	22,8	1,0	138-147	0,06	0,95
62	13	0,88	378	5,9	3,4	7,3	16,0	3,4	6,4	0,8	0,5	29,4	1,0	120-112	0,12	0,85
CZ12	14	0,65	277	6,7	2,0	6,0	15,5	4,0	3,9	0,9	0,4	16,1	0,9	135-135	0,05	1,0

**Zhodnocení:**

Byly provedeny svary o návarové ploše  $16 \text{ mm}^2$  drátem o průměru 1,2 mm na třech úrovních intenzity procesu režimem zkratované sprchy, který je určen pro hluboký závar [14]. A jeden svar drátem 1,0 mm o návarové ploše  $15,5 \text{ mm}^2$  ve stejném režimu. Při svařování plným drátem hlubokozávarovým režimem je zřejmé, že nejvyšší produktivitu má svar 62 zhotovený s nejvyšší intenzitou procesu. Tento svar má ještě přijatelné hodnoty geometrie svaru pro první jakost. Jediné co může vadit, je jeho zúžené prstové zakončení závaru.

**2.1.4 Vzájemné porovnání svařování plným a trubičkovým drátem na plechu 5 mm**

Porovnáme nejlepší svar ze série svarů s plným drátem svar 62 s nejlepším svarem ze série trubičkovým drátem svar CT2

Tab. 7 Tech. parametry trubičkového a plného drátu

Ozn.	Parametry				Geometrie				Prod.	Deformace			Kvalita			
	Vd	Vs	I	Q1	z	v	P <sub>M</sub>	a	V <sub>s</sub> *v	Q <sub>1</sub> /v	D	f <sub>2</sub>	c/b	β	p/w	a/a <sub>t</sub>
CT2	14,0	1,1	349	5,2	2,7	5,7	12,8	3,0	6,3	0,91	0,47	22,6	0,83	122-117	0,15	0,8
62	13	0,88	378	5,9	3,4	7,3	16,0	3,4	6,4	0,81	0,51	29,4	1,0	120-112	0,12	0,85

**Zhodnocení svařování na plechu tl. 5 mm**

Při porovnání nejlepších svarů podle všech tří kritérií zhotovených plným drátem - svar 62 a trubičkovým drátem - CT2, vychází poměrná produktivita ( $v_s \cdot v$ ) téměř na stejné úrovni, nicméně skutečná rychlost svařování je u trubičkového drátu vyšší o 27 % a tím i produktivita svařování. Měrné vnesené teplo je nižší, nicméně pro nižší nosnou velikost svaru, takže poměrný koeficient vychází ve prospěch plného drátu. Co se týče kvality, oba svary splňují podmínky první jakosti. Při vizuálním posouzení svar zhotovený trubičkovým drátem má přijatelnější geometrii závaru, a tím i vyšší

opakovatelnost. Vliv zdroje je nepatrný nebo se ho nepodařilo zjistit vzhledem k rozdílným parametrům svařování.

## 2.2 Svařování plechu tl. 2mm

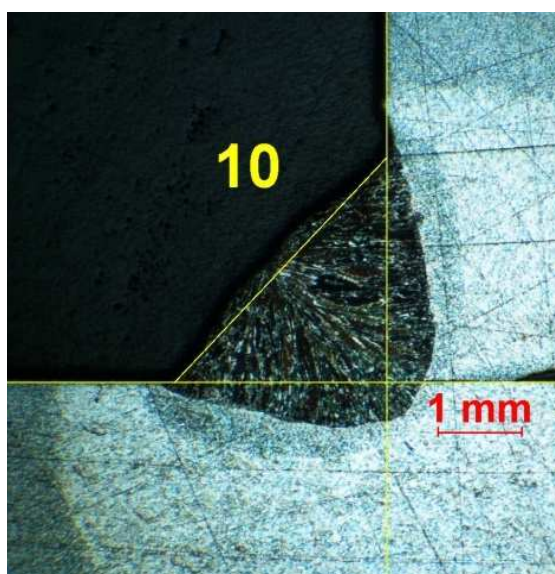
Pro plechy tloušťky 2 mm byl použit trubičkový drát Ok Tubrod 14.11 s náplní kovového prášku o  $\varnothing$  1,2 mm.

### 2.2.1 Zhodnocení svarů s koutovým svarem a2 svařovaných vysokorychlostním trubičkovým drátem

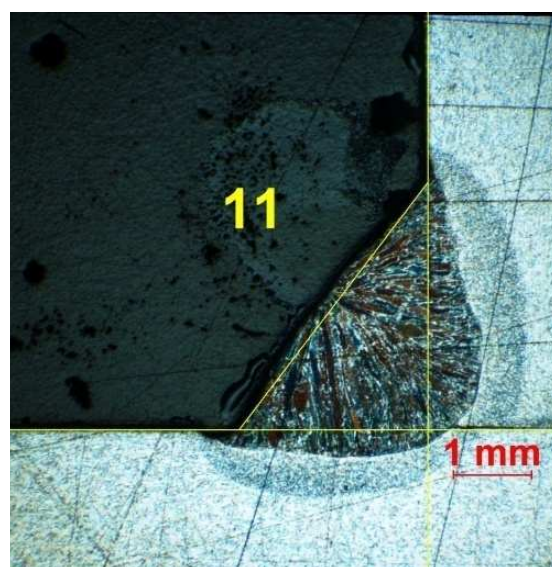
Byl použit Trubičkový drát Ok Tubrod 14.11 o  $\varnothing$  1,2 mm na plechu tl. 3mm v ochranné atmosféře 82/18.

Tab.7 Tech. parametry svaru trub. drátem na plechu 3 mm

Ozn.	Parametry				Geometrie				Prod.	Deformace			Kvalita			
	Vd	Vs	I	Q1	z	v	P <sub>M</sub>	a		Q <sub>1</sub> /v	D	f <sub>2</sub>	c/b	$\beta$	p/w	a/a <sub>t</sub>
10	9	2,3	240	1,5	0,41	2,2	3,9	1,8	3,7	0,91	0,38	16,3	1,1	127-127	0,17	0,91
11	8	1,8	239	1,9	0,23	2,2	4,5	1,9	5,1	0,67	0,35	12,5	0,96	121-138	0,06	0,90
12	9	2,0	254	1,9	0,47	2,4	4,6	1,9	3,8	0,90	0,35	14,7	0,76	113-123	0,05	0,89
13	10	2,2	275	1,7	0,53	2,3	4,6	1,9	4,7	0,77	0,36	15,8	0,88	114-116	0,11	0,89
14	10	2,0	274	2,0	0,50	2,5	5,2	2,0	5,2	0,73	0,34	14,4	0,97	112-121	0,15	0,88

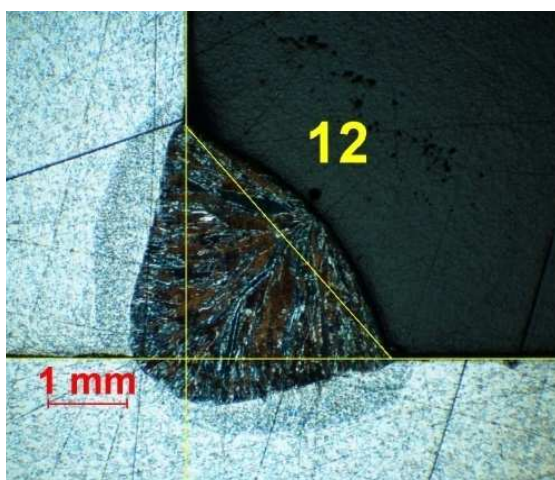


Obr. 31

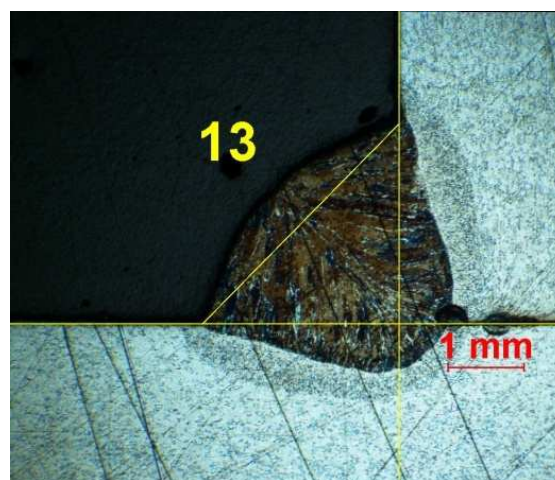


Obr. 32

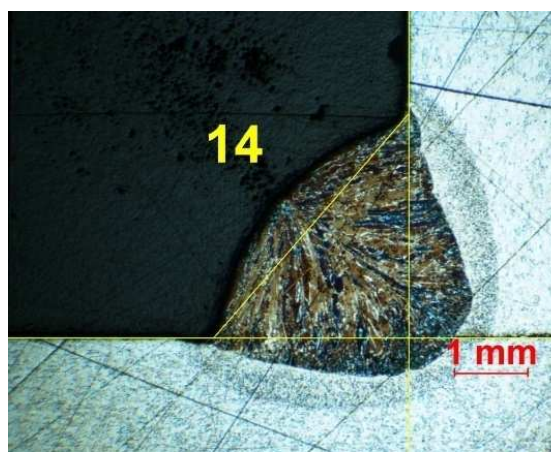




Obr. 33



Obr. 34



Obr. 35

### Zhodnocení:

Byly provedeny koutové svary a2 (návarová plocha  $4 \text{ mm}^2$ ) pro ověření avizované vysoké rychlosti svařování. Z uvedených maker svarů a přiložené tabulky je zřejmé, že bylo dosaženo rychlostí svařování až nad  $2 \text{ m/min}$  a přitom obrázky i hodnoty v tabulce ukazují dostatečný závar.

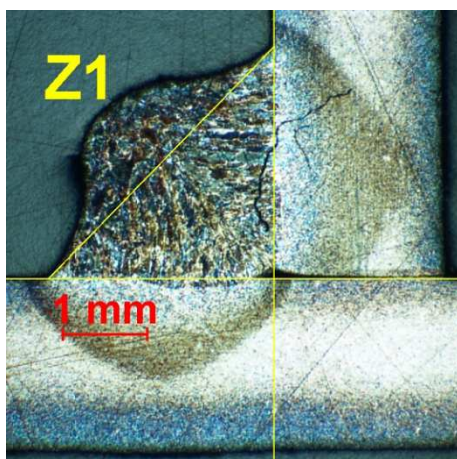
Velmi pěknou geometrii svaru i pěkný závar při nejvyšší produktivitě (rychlost  $2,1 \text{ m.min}^{-1}$ ) ze série zkoumaných vzorků má svar č. 10 na Obr. 31.

## 2.2.2 Zhodnocení svarů s koutovým svarem a2 provedených plným drátem $\varnothing$ 0,8 a 1,0 mm.

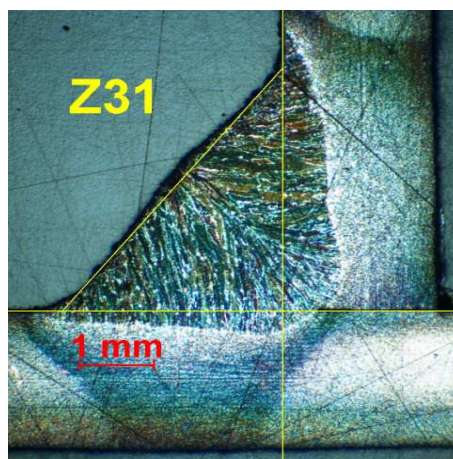
Pro svařování tenkých plechů byla vyvinuta řada speciálních technologií, založených na zkratovém a pulzním přenosu kovu. Tyto základní technologie jsou softwarově řízeny tak, aby se snížilo množství vneseného tepla na minimum a přitom dosáhlo potřebného závaru. To je dosaženo tvarováním vlny – průběhu proudu a napětí a někdy i posuvu drátu. Mimo rámec této práce byly provedeny zkoušky svařování plechů 2 mm procesy: CMT, QudroPulz, MixPulz, DuoPlus, IAC, MicroMig. [12] Jako ekvivalent pro porovnání s uvedeným trubičkovým drátem použijeme klasické svařování ve zkratovém a pulzním režimu plným drátem 0,8 a 1,0 mm.

### Porovnání svarů, zhotovených technologiemi:

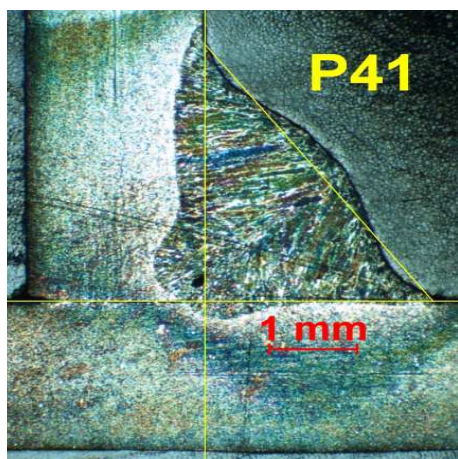
Zkratový (Z1 a Z31) a pulzní (P41 a P9) režim



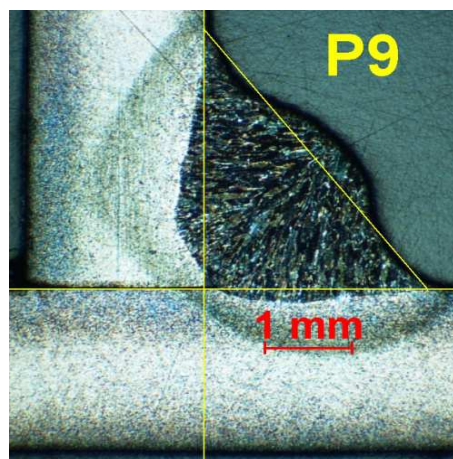
Obr. 35 Manuální zkrat



Obr. 36 Zkrat – automat



Obr. 37 pulz – automat



Obr. 38 pulz - drát 1 mm

**Zhodnocení:**

Na obrázcích 35 – 38 je znázorněno porovnání geometrie svaru zkratovým a pulzním procesem. Provedení svaru o návarové ploše  $4 \text{ mm}^2$  je na spodní hranici možností konvenčního zkratového i pulzního procesu. Svary byly nerovnoměrné, nestabilní. Na přání podniku byly základní parametry nastaveny na dosah manuálního vedení hořáku. Převýšený zkratový svar na Obr. 35 je ukázkou vlivu nízkých parametrů na geometrii a závar a nevhodnosti svařování tenkých plechů klasickým zkratem při ručním vedení. Svar na Obr. 36 při parametrech na přechodu do sprchy a trojnásobné rychlosti svařování je naopak velmi pěkný a z hlediska geometrie, produktivity, vneseného tepla a závaru dopadl z tohoto porovnání nejlépe. Svary provedené v pulzním režimu drátem 0,8 – Obr. 37 a drátem 1,0 – Obr. 38 měly stejný problém při vyšším vneseném teple.

Tab. 8 Technologické a geometrické parametry svarů provedených zkratem a pulzem

Ozn.	Parametry				Geometrie				Prod	Deformace			Kvalita			
	Vd	Vs	I	Q1	z	v	P <sub>M</sub>	a	Vs*v	Q <sub>1</sub> /v	D	f <sub>2</sub>	c/b	β	p/w	a/a <sub>t</sub>
Z1	4,4	0,4	85	2,1	0,0	1,9	4,6	1,9	0,84	1,11	0,04	0,01	0,97	124-124	0,25	0,89
Z31	13,5	1,4	185	2,1	0,3	2,7	4,5	2,3	3,7	0,78	0,36	0,07	0,81	130-141	0,04	1,1
P41	12	1,2	192	2,7	0,3	2,4	4,8	2,1	2,7	1,15	0,24	0,03	0,71	135-133	0,06	0,96
P9	7	1,1	192	2,5	0,0	2	4,7	2,0	2,2	1,2	0,12	0,01	0,79	129-142	0,07	0,92

**2.2.3 Zhodnocení metod použitých pro svařování hladkých plechů****tl. 2 mm**

Z porovnání vyplývá, že efektivita tavení materiálu rozhoduje o tom, jaké bude do svaru vnesené teplo a zároveň i o produktivitě svařování. Efektivita je přímo závislá na rychlosti svařování. Dále se dokázalo, že nejsou vhodné pro svařování tenkých plechů klasické režimy zkrat a pulz.

Při svařování drátem o průměru 0,8 mm se muselo dát pozor na vysoké rychlosti svařování. Při velkých rychlostech byla housenka nestabilní. Svar měl vysoké převýšení a špatnou smáčivost stěn po krajích se zápaly. Housenka se lepila na jednu či druhou stranu lázně viz. Obr. 39. Použití trubičkového drátu průměr 1,2 mm s vysokým faktorem plnění při vysoké rychlosti svařování se nakonec ukázalo jako nejúčinnější řešení pro



automatický způsob. Vzhledem k velkému průměru je svarová lázeň téměř plochá, má výbornou smáčivost na obou stranách (stojna a pásnice) a minimální převýšení. Pro manuální aplikaci svařování se nejlépe hodí speciální metody řízeného zkratu a řízeného pulzu případně doplněné řízeným posuvem drátu (CMT).



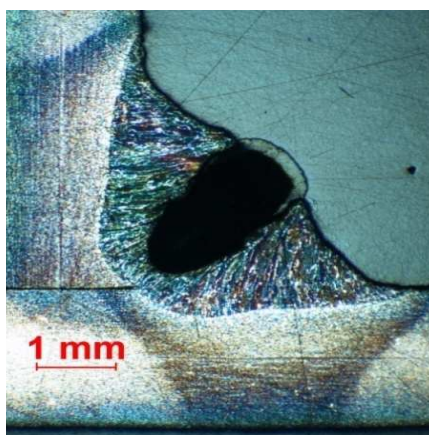
Obr. 39 Plech 2mm – nestabilní housenka a póry

#### **2.2.4 Porovnání svarů s koutovým svarem a2 trubičkovým a plným drátem na plechu opatřených základním nátěrem**

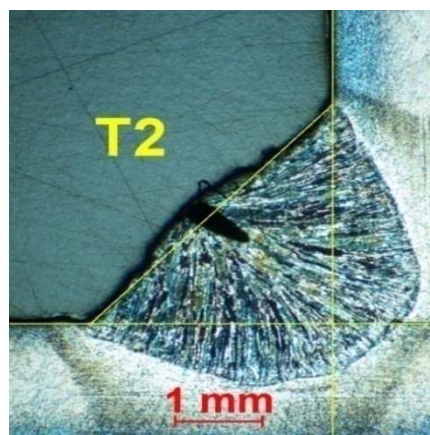
Svařovalo se trubičkovým drátem Ok Tubrod 14.11. Svary byly porovnány s dříve provedenými svary plným drátem o průměru 0,8 mm. Všechny svary byly zhotoveny na plechu tl. 2 mm v ochranné atmosféře 82/18 za použití zdroje Sigma Migatron 500 pulse.

##### **Zhodnocení:**

Svary, zhotovené trubičkovým drátem vysokou rychlostí svařování na plechu, opatřeném základním nátěrem vykazovaly největší pórovitost ze všech porovnávaných metod. Z toho vyplývá, že použití tohoto přídatného materiálu vyžaduje naprostou čistotu plechů a pro požadovanou aplikaci se vůbec nehodí. Z maker je patrná velká pórovitost v centrální oblasti svaru.

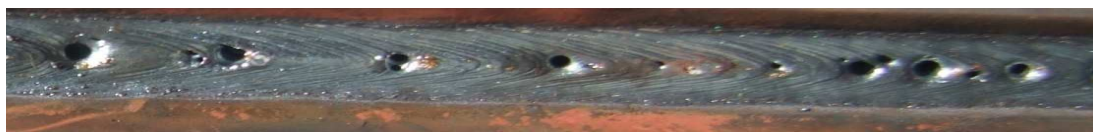


Obr. 40 Výskyt pórování při zkratu



Obr. 41 Porování u trubičkového drátu





Obr. 42 Pohled na pórovitou housenku

### 3. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo porovnání koutových svarů a2 a a4, provedených na plechu tl. 2 a 5 mm plným a trubičkovým drátem. Pro plechy tloušťky 5 mm, svařované trubičkovým drátem PZ 6102 v ochranné atmosféře Ar-CO<sub>2</sub> 82/18 se potvrdil závěr, zjištěný již v předchozí práci [15], že trubičkový drát vytváří širší svary s dostatečným závarem, takže je méně citlivý na změny v geometrii úkosu, mezeře, dráhy hořáku nebo i zručnost svařeče při manuální aplikaci. Při použití moderní tříložkové směsi plynu Ferromaxx 7 však došlo k překvapivé změně geometrie housenky, která zde vykazuje hluboký závar, který byl sledován pouze u hlubokozávarového svařování plným drátem. Z toho vyplývá vysoká variabilita a tedy i možnost tvarování housenky při použití trubičkového drátu v kombinaci s různými plyny.

Široké možnosti využití trubičkových drátů prokázaly i experimenty s novým trubičkovým drátem OK Tubrod 14.11, určeným pro svařování tenkých plechů. Nejen, že byly dosaženy avizované rychlosti svařování kolem 2 m/min, ale navíc při těchto rychlostech byly dosaženy vyhovující geometrie svarů s dostatečným závarem a stabilita procesu s hladkým rovným povrchem housenky a minimálním převýšením. Při tomto svařování byly dosaženy nejnižší hodnoty měrného vneseného tepla do svaru, nižší než při použití speciálních “cold“ technologií, vyvinutých pro svařování tenkých plechů.

Závěrem se dá konstatovat, že trubičkové dráty s kovovou náplní mají velké možnosti uplatnění při automatizovaném svařování a jejich výhody převažují vyšší cenu. Podmínkou jejich správného využití je dobrá technologická příprava, to znamená experimentální optimalizace parametrů pro danou aplikaci.

**4. Použité vzorce:**

Účinnost tavení:

$$f_2 = \frac{10,5}{Q_1 * (P_S - P_N)} \quad [J] \quad (1)$$

Vypočtená plocha:

$$P_M = k_1 * k_2 * \frac{V_D}{V_S} * \pi r^2 [mm^2] \quad (2)$$

Souměrnost:

$$c/b \quad (3)$$

Zředění:

$$D = \frac{P_S - P_N}{P_S} \quad [-] \quad (4)$$

Produktivita svařování vzhledem k účinné výšce:

$$V_S * v \quad (5)$$

Poměrné vnesené teplo k účinné výšce:

$$Q_1/v \quad (6)$$

Poměrné převýšení k šířce svaru:

$$p/w \quad (7)$$

Poměr skutečné a teoretické nosné velikosti svaru:

$$a/a_t \quad (8)$$

Měrné vnesené teplo:

$$Q_1 = h * \frac{U * I}{100 * V_S} * 0,06 \left[ \frac{kJ}{cm} \right] \quad (9)$$

**Seznam použité literatury:**

- [1] Euromix M21, dostupné z <[http://www.airproducts.sk/prohlasenivyrobc/pdf/Plyny/PROHLASENI\\_VYROBCE\\_Euromix\\_M21.pdf](http://www.airproducts.sk/prohlasenivyrobc/pdf/Plyny/PROHLASENI_VYROBCE_Euromix_M21.pdf)> [cit dne 13. 11. 2012]
- [2] FENSTER 1/2008 fy. ESAB, dostupné z <[http://www.esab.ch/de/de/news/upload/Fenster\\_1\\_2008\\_screen.pdf](http://www.esab.ch/de/de/news/upload/Fenster_1_2008_screen.pdf)> [cit. 16. 11. 2012]
- [3] Ferromaxx7, dostupné z <[http://www.airproducts.sk/metalfabrication/zvaranie/pdf/SK\\_Ferromaxx7.pdf](http://www.airproducts.sk/metalfabrication/zvaranie/pdf/SK_Ferromaxx7.pdf)> [cit. 23. 11. 2012 ]
- [4] FILARC PZ 6102, dostupné z <[http://www.okweld.cz/PDF/trubickovydrat/nelegovane/PZ\\_6102.pdf](http://www.okweld.cz/PDF/trubickovydrat/nelegovane/PZ_6102.pdf)> [cit. 23. 10. 2012 ]
- [5] FILARC PZ 6105R, dostupné z <<http://www.svarovani.cz/ostatni-svarecky/pdf/07-04.pdf>> [cit. 4. 10. 2012 ]
- [6] materiály fy ESAB, dostupné z <<http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/Pr%C5%AFvodce%20FCAW.pdf>> [cit. 4. 11. 2012 ]
- [7] OK AristoRod 12.50, dostupné z <[http://www.generalweld.cz/cz/pdf/OK\\_AristoRod\\_12\\_50.pdf](http://www.generalweld.cz/cz/pdf/OK_AristoRod_12_50.pdf)> [cit. 6. 10. 2012 ]
- [8] OMNITECH spol. s r.o., dostupné z <[http://www.omnitechweld.cz/cze/clanky/vyroba\\_trubickovych\\_dratu%20.html](http://www.omnitechweld.cz/cze/clanky/vyroba_trubickovych_dratu%20.html)> [cit. 13. 12. 2012]
- [9] Sigma<sup>2</sup> 500 c-v Pulse, dostupné z <<http://shop.migatronik.cz/hlavni-oddeleni/kategorie/svarovaci-zdroje/sigma-500-c-v-pulse?=620>> [cit. 7. 12. 2012]
- [10] Svařování kovů elektrickým obloukem, dostupné z <[http://mechmes.websnadno.cz/dokumenty/pri-t2-11\\_svarovanikovuelektrickymobloukem.pdf](http://mechmes.websnadno.cz/dokumenty/pri-t2-11_svarovanikovuelektrickymobloukem.pdf)> [cit. 17. 12. 2012]



- [11] Svetsaren ESAB Vol.54 NO. 1/2000, dostupné z < [http://www.esab.com/global/en/news/upload/Svetsaren\\_1\\_2000.pdf](http://www.esab.com/global/en/news/upload/Svetsaren_1_2000.pdf) > [cit. 13. 10. 2012]
- [12] Technologičnost návrhu svaru MAG pro ocelové konstrukce, Ing. Zdeněk Hudec PhD., habilitační práce, Liberec 2012
- [13] Tubular wire welding; David Widgery, vydal Woodhead Publishing Ltd, Cambridge England 1994,ISBN 185573 088 X
- [14] Vliv ochranného plynu na kvalitu a produktivitu svařování MAG s vysokou hustotou výkonu, Martin Tomášek, diplomová práce, Liberec 2010
- [15] Vliv přídavného materiálu na efektivitu provedení svaru a stabilitu procesu MAG; Petr Furmaník, diplomová práce, Liberec 2007
- [16] Výběr technologie MAG pro svařování plechů tl. 2 až 6 mm, Jindřich Nosek, bakalářská práce, Liberec 2012
- [17] Weldmonitor, dostupné z < [www.electric.cz/weldmonitor\\_cz.htm](http://www.electric.cz/weldmonitor_cz.htm) > [cit. 6. 10. 2012]
- [18] ZVÁRACIE METODY A ZARIADENIA,kolektiv autorov, vydal ZEROSS, OSTRAVA 2000, ISBN 80-85771-84-5
- [19] Zváranie ocelí v ochrane plynov taviacou sa elektoródou; Peter Ondrejček, vydal ETERNA PRESS s.r.o, Bratislava 2003, ISBN 80-968359-5-5
- [20] ZVÁRANIE – SVAŘOVÁNÍ 2001 č. 3-4, ISBN 0044-5525
- [21] ZVÁRANIE – SVAŘOVÁNÍ 8/2005, ISBN 0044-5525



### **Prohlášení**

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména §60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu užití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 4. 1. 2013

Podpis:



### **Declaration**

I have been notified of the fact that Copyright Act. No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in the full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis to grant a license for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date: 5. 1. 2011

Signature:

**Příloha**

Tab. 1 Porovnání svarů na plechu tl. 5 mm svařované trubičkovým drátem v ochranné atmosféře: Ar-CO<sub>2</sub> 82/18

Ozn.	Vd	Vs	I	U	CW	Q	P <sub>M</sub>	x	c	b	a	z	v	p	w	β
020	14,4	0,91	347	28,6	16	5,6	16,1	2,9	4,3	5	3,3	2,23	5,5	1,4	6,5	100 - 107
022	11,8	0,73	304	25,9	16	6,5	16,6	2	4,9	5,3	3,6	1,4	5,0	0,98	7,2	110 - 127

Tab. 2 – Porovnání svarů na plechu tl. 5 mm svařované trubičkovým drátem v ochranné atmosféře Ferromaxx7

Ozn.	Vd	Vs	I	U	CW	Q	P <sub>M</sub>	x	c	b	a	z	v	p	w	β
021	14,4	0,90	351	28,6	16	5,7	16,3	2,8	4,3	5,3	3,3	3,1	6,4	1,2	6,8	96 - 116
023	0,74	305	25,8	16	6,4	16,3	1,8	0,74	5,0	5,3	3,6	2,2	4,9	0,78	7,2	113 - 117
CT1	11,8	0,74	315	25,9	15	6,6	16,2	1,92	5,1	5,6	3,8	1,4	5,2	0,43	7,6	128 - 132
T1	11,8	0,75	309	26,1	15	6,5	16,1	2,56	4,5	6,5	3,7	2,1	5,8	0,6	7,8	123 - 134
CT2	14	1,1	349	27,6	15	5,2	12,8	3,45	3,9	4,7	3,0	2,7	5,7	0,92	6,1	122 - 117

Tab. 3 Porovnání svarů na plechu tl. 5 mm plným drátem v ochranné atmosféře Ferromaxx 7

Ozn.	Vd	Vs	I	U	CW	Q	P <sub>M</sub>	x	c	b	a	z	v	p	w	β
42	9,0	0,61	320	27,3	14	7,3	15,9	3,1	6,2	4,9	3,9	2,4	6,4	0,24	7,9	140 - 140
52	11,5	0,78	371	28,1	14	6,8	15,9	2,6	5,3	5,1	3,6	3,1	6,8	0,42	7,4	135 - 135
62	13,0	0,88	378	27,0	14	5,9	15,9	2,8	5,0	4,9	3,4	3,8	7,3	0,86	7,0	120 - 110
CZ12	14	0,65	277	26,3	13,5	6,7	15,5	2,0	5,4	6,0	4,0	1,5	5,5	0,41	8,1	134 - 136

Tab. 4 Porovnání svarů na plechu tl. 3 mm svařované trubičkovým drátem

Ozn.	Vd	Vs	I	U	CW	Q	P <sub>M</sub>	x	c	b	a	z	v	p	w	β
10	9	2,3	240	23,5	15	1,5	3,9	0,43	2,6	2,7	1,8	0,41	2,23	0,23	3,7	127 - 127
11	8	1,8	239	23,8	15	1,9	4,5	0,3	2,4	3,2	2,0	0,23	2,16	0,18	4	121 - 138
12	9	2,0	254	23,8	15	1,9	4,6	0,66	2,6	3,0	2,0	0,47	2,43	0,44	3,9	113 - 123
13	10	2,2	275	23	15	1,7	4,6	0,64	2,6	2,7	1,9	0,53	2,39	0,54	3,7	114 - 116
14	10	2,0	274	24,1	15	2,0	5,2	0,63	2,7	3,1	2	0,5	2,48	0,51	4,1	112 - 121



Tab. 5 Porovnání svarů na plechu tl. 2 mm plným drátem  $\varnothing$  0,8 a 1,0 mm

Ozn.	Vd	Vs	I	U	CW	Q1	P <sub>M</sub>	x	c	b	a	z	v	p	w	$\beta$
Z1	4,4	0,4	85	18,3	11	2,1	4,6	0	2,67	2,74	1,9	0	1,9	0,96	3,8	124 - 124
Z31	13,5	1,4	185	25,9	11	2,1	4,5	0,41	3,0	3,7	2,3	0,32	2,7	0,17	4,7	130 - 141
P41	12	1,2	192	26,9	12	2,7	4,8	0,24	2,6	3,7	2,1	0,3	2,4	0,26	4,45	137 - 152
P9	7	1,1	192	23,3	13	2,5	4,7	0	2,6	3,2	2	0	2	0,29	4,12	129 - 142